



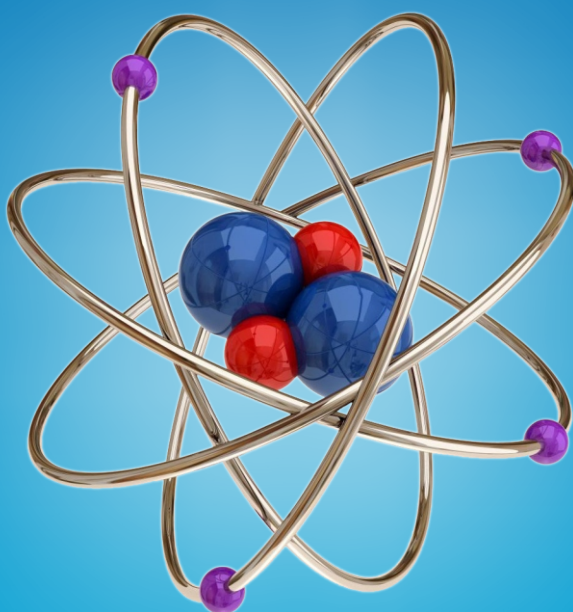
Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Физико-
технологический
институт

ФИЗИКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

*Сборник
научных трудов*



Екатеринбург 2015 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ФИЗИКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник научных трудов

Выпуск 1

Екатеринбург
2015

УДК 53:001.895(06)

ББК 22.3я431+65-551я431

Редакционная коллегия:

В. Н. Рычков, доктор химических наук,
директор Физико-технологического института УрФУ (председатель редколлегии);

С. В. Звонарев, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества
Физико-технологического института УрФУ;

Н. Ю. Марчук, кандидат психологических наук,
доцент кафедры социальной безопасности Физико-технологического института УрФУ.

Физика. Технологии. Инновации: сборник научных трудов /
под ред. В. Н. Рычкова, УрФУ. — Екатеринбург, 2015. — 358 с.

ISBN 978-5-905227-08-0

Сборник научных трудов «Физика. Технологии. Инновации» раскрывает актуальные проблемы современной физики, инновационных и информационных технологий, а также социальных наук. В данном выпуске объединены результаты научного анализа и эмпирических исследований, представленных известными учеными, ведущими специалистами и молодыми исследователями. Сборник будет интересен научным деятелям и практикующим специалистам в области физики, химии, информационных технологий, филологии, социологии, истории, экологии.

УДК 53:001.895(06)

ББК 22.3я431+65-551я431

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ФИЗИКА И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	8
Абрамов А. В., Сухоруков А. В., Жиляков А. Ю. Пробоподготовка красного шлама для рентгенофлуоресцентного анализа методом сплавления с литий-боратными флюсами	9
Баранова А. А., Скупов А. Д. Прибор для обнаружения взрывчатых и наркотических веществ	15
Будаи Б. Т., Калинин Б. А., Лапшин Г. И. Повышение чувствительности масс-спектрометров с использованием статистической обработки результатов измерения	18
Будаи Б. Т., Снегин К. А. Поиск причин возникновения АК в контурах управления оптико- электронных систем	23
Вахитов А. И., Смирнов Г. Б., Фокин А. А. Влияние учета диффузионной поляризации на результаты моделирования процесса роста катодного осадка в электролизере коаксиальной симметрии	33
Владыкин Р. Г., Гадельшин М. Ш., Долгирев Ю. Е. Исследование влияния уровня заправки теплоносителя на работоспособность контурного термосифона	38
Волков К. Д., Тарасов Е. Н., Зинин А. В., Андреев С. В., Первушина А. С. Влияние высокоэнергетического размола на магнитные гистерезисные свойства сплава $Mn_{55}Al_{45}$	43
Громыко М. В., Крымов А. Л., Игнатьев О. В. Сцинтилляционный β -радиометр: особенности применения и выбор детектора	47
Давыдов Д. Н., Оконечников А. П. Радиационные дефекты в сульфиде цинка	54
Дерябина Д. М., Баранова А. А. Исследование интенсивности роста редиса в зависимости от полученной дозы ионизирующего излучения	59

Джамбеков А. М. Регулятор температуры стабильного катализатора на базе нечеткой логики.....	66
Ершов М. И., Каграманов Ю. А., Лабинцев Е. С. Газификация бородинских углей в кипящем слое.....	71
Жуков А. В., Стариков Е. В., Щеклеин С. Е. Быстродействующая, пространственно распределенная система регистрации параметров в теплофизических исследованиях	81
Золотухина А. В. Риски открытых инноваций	86
Иванов Р. А., Селезнёв В. Д. Моделирование и исследование лазерного плавления в методе 3D печати на примере порошка алюминия	89
Ильин Д. О., Вохминцев А. С., Чукин А. В., Вайнштейн И. А. Влияние температурного отжига на катодоллюминесцентные свойства нанопористого оксида алюминия.....	96
Исмоилов С. А. Разработка лабораторного стенда для изучения принципа компьютерной томографии	101
Карпов В. В., Кудряшов Д. В., Половов И. Б., Ребрин О. И. Электрохимические свойства основных компонентов конструкционных сплавов в хлоралюминатных расплавах.....	105
Козловский А. Л., Алешова Н. Е., Мейримова Т. Ю., Шлимас Д. И. Влияние скорости осаждения на кристаллическую структуру и проводящие свойства Ni-нанотрубок	112
Крышмарь Д. В., Ника Д. Л. Фононная инженерия теплопроводящих свойств аморфных кремниевых нанонитей.....	121
Курбанова Э. Д., Полухин В. А., Гусева А. Б., Митрофанова Н. С. Термостабильность атомных и электронных структур при формировании интерфейсов графена и силицена на подложках металлов.....	129
Максимова Е. А., Волкова М. В. Изучение использования вторичных и загрязненных вод.....	138
Мальцев Д. С., Волкович В. А., Ямщиков Л. Ф., Чукин А. В. Термодинамические свойства урана в эвтектическом сплаве Ga-Sn	142

Маслюков Е. В., Палкин В. А. Очистка регенерированного урана в R-каскадах с промежуточным отбором.....	150
Медянкина И. С., Пасечник Л. А., Пягай И. Н., Сабирзянов Н. А., Яценко С. П. Эффективный способ масштабного получения соединений скандия из отхода глиноземного производства	155
Митенкова Е. А., Саркисова А. С., Дедюхин А. С., Щетинский А. В. Равновесные потенциалы гадолиния, гольмия и эрбия в эвтектическом расплаве хлоридов лития, калия и цезия	161
Никитин А. Д., Одинаев И., Щеклеин С. Е. Технико-экономический анализ и оптимизация структуры фотоэлектрической станции для Таджикистана	167
Орлов С. Н., Костин М. М., Фоменков Р. В., Цапко Ю. В. Создание стендов нейтронного облучения для исследования физико-химической стабильности кремнийорганической жидкости ФМ-1	175
Перминов О. И., Окенов А. О., Хохлов К. О. Разработка и изготовление прибора для физиотерапевтического воздействия поляризованным излучением	181
Савченко С. С., Ильин Д. О., Voxминцев А. С., Вайнштейн И. А. Флуоресценция квантовых точек InP/ZnS в нанопористой матрице оксида алюминия	186
Титова С. М., Скрипченко С. Ю., Грачева М. П., Горцунова К. Р., Смирнов А. Л. Извлечение урана из ТБФ с использованием фторсодержащих растворов	190
Федосов Е. А., Гольдштейн С. Л., Диомидов И. А. Метод и модель оценки толщины гемангиом.....	196
Ципуштанова Т. В., Лужецкая А. П., Поддубный В. А. Оценка аэрозольного радиационного форсинга атмосферы в Екатеринбурге, Томске и Bratts Lake (Канада) по данным измерений глобальной сети мониторинга «AERONET»	205
Чайкин Д. В., Voxминцев А. С., Вайнштейн И. А. Измерительный канал для исследований люминесценции твердых тел при низких температурах.....	212

РАЗДЕЛ 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	219
Буддакова А. А., Кудрявцев А. Г. Развитие системы поддержки разрешения проблемных ситуаций, основанной на управлении факторами.....	220
Бызова А. К., Гольдштейн С. Л. Оценка точности классификации текстов в зависимости от их числа средствами Data Mining	224
Гольдштейн С. Л., Грицюк Е. М., Аверьянова А. Н., Хушанг М. О вложении служебных пространств деятельности клинического эпидемиолога	230
Грицюк Е. М., Гольдштейн С. Л., Семенова О. А. Об устойчивости структур медицинского учреждения в зависимости от эпидемиологического и информационного благополучия.....	238
Зейде К. М. Предсказание результатов моделирования ЭМ дифракции в системах с вращающимся рассеивателем.....	248
Зябликова Т. Л. Разработка картографического веб-сервиса для создания тематических карт.....	252
Камбаров А. Н., Тулаганов Н. А. Проблемы обеспечения информационной безопасности Республики Казахстан	257
Роднин А. В., Турчик В. Ю. Концепция применения интеллектуального анализа данных в средствах защиты информации баз данных.....	263
Усталов Д. А. История, направления и некоторые проблемы современных исследований краудсорсинга как научно-практической дисциплины.....	270
РАЗДЕЛ 3. СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	277
Аверкова О. В., Хромых А. А. Какая она, эта русская женщина, которая бабой в народе зовется (по данным свободного ассоциативного эксперимента)?	278
Ахметова Ю. Г., Степанова А. Ю. Роль и место профсоюзных организаций в системе управления профессиональными рисками на предприятии атомной промышленности	284

Ван В., Гоголина Н. А. Лингвокультурологическая интерпретация терминов родства по данным речи	289
Есенина М. А., Разикова Н. И. Комплексный подход к изучению социальной адаптации иностраннх студентов в УрФУ	297
Зайцев Д. В., Метелев Д. А. Совершенствование методов оценки удовлетворенности студентов качеством работы профессорско-преподавательского состава.....	305
Капсалыкова К. Р. Чудеса и диковины в зеркале «Краткой истории» Иоанна Скилицы	310
Карамов Р. М. Процессное управление. Система управления строительным предприятием	314
Лупеева В. П., Подвысоцкий А. И. О некоторых аспектах взаимодействия социально ориентированных некоммерческих организаций и органов власти (на примере города Екатеринбурга)	320
Медведева Е. Е., Шапошникова Ю. С. Социальное кураторство как элемент системы инклюзивного образования	326
Сарыев М. Р. История социальной поддержки инвалидов в США.....	330
Сермягина Е. А., Поршнева А. С. Составление ассоциативного поля концепта «семья» в русском языке путем проведения свободного ассоциативного эксперимента.....	337
Фокин А. А., Белов А. А. Деятельность университетского волонтерского центра: опыт, проблемы, перспективы	341
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	346

РАЗДЕЛ 1

ФИЗИКА И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. В. Абрамов, А. В. Сухоруков, А. Ю. Жиликов

ПРОБОПОДГОТОВКА КРАСНОГО ШЛАМА ДЛЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ СПЛАВЛЕНИЯ С ЛИТИЙ-БОРАТНЫМИ ФЛЮСАМИ

Разработана методика пробоподготовки красного шлама путем сплавления пробы с литий-боратными флюсами с соотношением массы пробы и флюса 1:2 и 1:4. Установлено, что красный шлам полностью растворяется в литий-боратном флюсе при П:Ф 1:4 и выше. В стеклянных дисках с П:Ф от 1:2 до 1:4 наблюдается частичное растворение шлама во флюсе, при более низких отношениях наблюдается критическое увеличение вязкости расплава, в результате чего диск не формируется. В качестве несмачивающего агента предложен хлорид натрия, который обеспечивает хорошее отделение плава от изложницы.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, красный шлам, пробоподготовка, литий-боратные диски, несмачивающие агенты.

Sample preparation for XRF analysis of red mud was investigated. Samples were based on lithium-borax fluxes and the effect of flux composition and sample-to-flux ratio on the disk quality were studied. The optimal flux composition is a 1:1 mixture of LiBO_2 and $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, and the optimal ratio of the flux to the sample is 1:2 or 1:4.

Key words: XRF analysis, red mud, sample preparation, lithium-borate glass, no wetting agent.

Для успешной реализации технологии переработки красного шлама необходимо разработать методику его химического анализа. В качестве метода анализа предложен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Пробоподготовка красного шлама для РФА может быть выполнена путем прессования порошкообразной пробы. Однако красный шлам имеет сложный структурный состав [1–3], воспроизведение которого в прессованных образцах сравнения затруднительно [4].

Более перспективным методом пробоподготовки красного шлама для РФА представляется его сплавление с флюсами. Данный метод позволяет полностью перевести пробу в гомогенный твердый раствор, что ослабляет влияние матричных эффектов и позволяет достичь максимальной гомогенизации пробы. Однако при этом неизбежно происходит снижение интенсивности аналитического сигнала и, как следствие, ухудшение пределов обнаружения анализируемых компонентов. Целью данной работы является разработка методики пробоподготовки красного шлама для РФА методом сплавления с литий-боратными флюсами с минимальной степенью разбавления.

Аппаратура и реактивы

Для автоматического сплавления порошкообразных проб с флюсами использована установка «KATANAX K1 PRIME». Сплавление смесей и формование стеклянных

дисков производили в тиглях и изложницах из сплава Pt-Au (95 мас. % Pt, 5 мас. % Au). Объем тигля 50 мл, диаметр изложницы 40 мм.

Полученные стеклянные диски проанализированы с помощью волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра «ARL ADVANT'X 4200» с рентгеновской трубкой с родиевым анодом. Микроанализ поверхности полученных образцов проводился на растровом электронном микроскопе «Jeol JSM 6490» с приставкой для микроанализа «Oxford Inca». Для измельчения и гомогенизации смеси красного шлама с флюсом использовалась планетарная мономельница «PULVERISETTE 6 classic line» с размольным стаканом и шарами из агата.

Флюсы — тетраборат $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (LiT) и метаборат лития LiBO_2 (LiM) (99,99 %, Spex CertiPrep), соли перед использованием сушили в течение трех часов при температуре 110 °С. Исследуемые несмачивающие агенты LiF (ч. д. а., ТУ 6-09-3529-84), NaCl (х. ч., ГОСТ 4233-77), KBr (х. ч., ГОСТ 4160-74), KI (х. ч., ГОСТ 4232-74).

Методика приготовления стеклянных дисков

Красный шлам перед сплавлением прокаливали в течение трех часов при температуре 850 °С. Навески красного шлама, флюса и несмачивающего агента перемешивали в мельнице при следующих параметрах: скорость вращения 350 об./мин, 4 цикла по 6 мин, после каждого цикла смена направления вращения. Масса исходной смеси 11 г.

В качестве режима сплавления выбрана стандартная программа «Oxide» установки «KATANAX PRIME K1». Первый этап сплавления — предварительный нагрев до 1000 °С, второй этап — сплавление при 1020 °С в течение 5 мин, третий этап — сплавление с перемешиванием при 1050 °С в течение 1 мин, четвертый этап — слив расплава и охлаждение до 20 °С.

Результаты и обсуждения

На первом этапе проведены исследования по выбору оптимального состава флюса. Метаборат лития обеспечивает лучшую растворимость пробы, однако приводит к кристаллизации плава при охлаждении. Тетраборат лития стабилизирует аморфную форму расплава, однако ограничивает растворимость образца в плавне [5]. В качестве исходных составов флюса выбраны индивидуальные LiT, LiM и их смеси LiT:LiM 1:1 и 4:1. Первоначальное отношение массы пробы к флюсу задали как 1 к 7. При использовании индивидуального LiM образующиеся диски растрескиваются при застывании. Стеклянные диски на основе индивидуального LiT и смесей LiT:LiM 4:1 демонстрируют высокую прочность. Диски с флюсом состава LiT:LiM 1:1 формируются удовлетворительно, однако получаются хрупкими, поэтому использование флюса данного состава не рекомендуется для сплавления с пробами красного шлама.

На втором этапе исследований установлено оптимальное соотношение массы пробы и флюса. При определении содержания макрокомпонентов в шлаках и рудах рекомендуемые соотношения массы пробы и флюса (П:Ф) варьируются от 1:7

до 1:30 [4–6]. Однако такое разбавление значительно ухудшает пределы обнаружения для большинства микрокомпонентов. Т. к. ряд определяемых элементов в красном шламе имеет низкие концентрации (0,0001–0,01 мас. %), то при разработке методики пробоподготовки актуальной задачей является достижение минимально возможного разбавления пробы флюсом. Поэтому в качестве объектов исследования на данном этапе выбраны смеси с отношением массы пробы к флюсу 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:7.

При П:Ф 1:1 диск не формируется, образуется очень вязкий расплав, не распределяющийся равномерно по изложнице, значительная доля расплава остается в тигле. Красный шлам при таком соотношении не растворяется во флюсе, гетерогенность плава наблюдается визуально. Увеличение времени сплавления до 40 мин не приводит к существенным изменениям.

Смеси с П:Ф 1:2, 1:3, 1:4, 1:7 формируются удовлетворительно. Визуальный анализ выявил, что диски с П:Ф 1:2, 1:3 непрозрачны для видимого света, тогда как диски с П:Ф 1:4 и выше свет пропускают. Это косвенно указывает на неполное растворение пробы во флюсе при П:Ф 1:2, 1:3. Микроанализ поверхности полученных литий-боратных дисков выявил, что при П:Ф 1:4, 1:7 образуются гомогенные твердые растворы шлама во флюсе (рис. 1а), тогда как при П:Ф 1:2, 1:3 стеклянные диски имеют гетерогенную структуру, состоящую из частиц шлама и твердого раствора на основе флюса (рис. 1б).

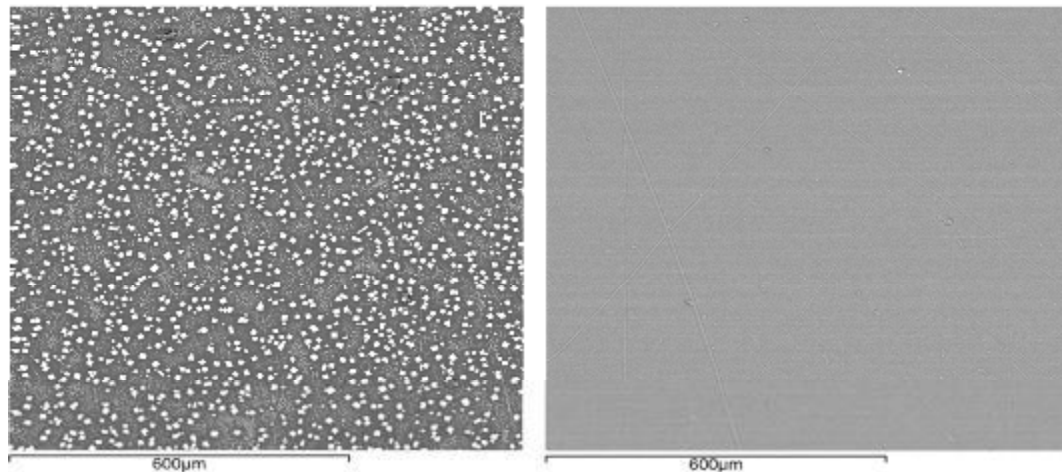


Рис. 1. Микроструктура литий-боратных дисков с красным шламом:

а — диск с П:Ф 1:2; б — диск с П:Ф 1:4

Нерастворившийся во флюсе красный шлам равномерно распределяется по всему объему диска в виде включений различного размера. Можно выделить две основные фракции: крупную (частицы размером 1–25 мкм), состоящую из минералогических фаз на основе оксида железа и титана, предположительно гематита, рутила (рис. 2, область 1), и мелкую (частицы размером 0,1–0,5 мкм), состоящую, вероятно, из минералогических фаз на основе содалита, бемита, гиббсита

и алюмосиликатов (рис. 2, область 2). Данный состав красного шлама при неполном растворении или прессовании пробы может привести к значительному снижению точности анализа [4], поскольку использование метода РФА подразумевает создание образцов сравнения, структурный и химический состав которых должен быть максимально приближен к составу красного шлама.

Таким образом, минимально допустимое соотношение массы красного шлама и литий-боратного флюса составляет 1:2. Однако оптимальным соотношением массы пробы и флюса является 1:4, т. к. красный шлам в этом случае полностью растворяется.

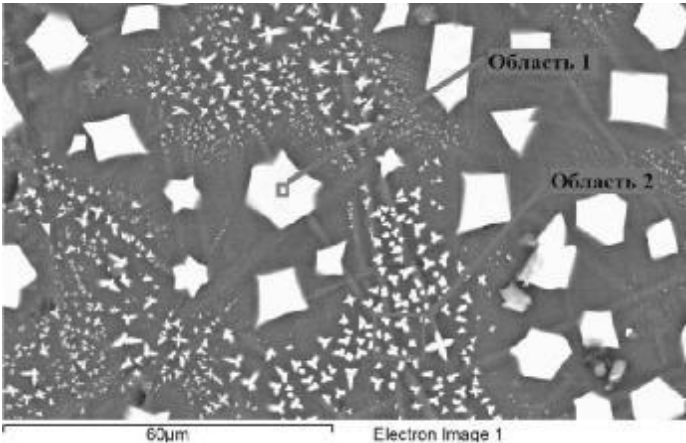


Рис. 2. Микроанализ включений красного шлама в стеклянном диске с П:Ф 1:2

Таблица 1

Анализ состава частиц красного шлама в стеклянном диске с П:Ф 1:2 по элементам, мас. %

Элемент	Fe	Ti	O	Al	Na	Ca	Mg	Si	S	Cl
Область 1	70,16	1,56	28,28	–	–	–	–	–	–	–
Область 2	22,87	1,39	60,53	3,4	2,5	4,03	0,34	2,11	1,04	1,79

Проведен сравнительный анализ спектров, полученных с использованием стеклянных дисков с отношением массы пробы к флюсу 1:2, 1:4. Анализ спектров на примере Ка-линий Sc, Y, Ce, Ca, Fe показал, что интенсивность сигнала от стеклянного диска с П:Ф 1:2 в среднем на 15...20 % выше, чем от диска с П:Ф 1:4. Также показано, что соотношение сигнал/фон при РФА литий-боратного диска с П:Ф 1:2 выше (табл. 2). Проведена оценка погрешности подготовки стеклянных дисков с разным соотношением массы пробы и флюса. С этой целью изготовили три диска с П:Ф 1:2 и 1:4 и в каждом из них последовательно измерили 10 раз интенсивности аналитических линий Sc, Y, Ce, Ca, Fe. С помощью полученных данных определили среднеквадратическое отклонение (СКО) аналитического сигнала

для дисков разного состава. В результате установлено, что СКО минимально для дисков с отношением массы пробы к флюсу 1:2 (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики стеклянных дисков с различными П:Ф

Характеристики	Состав диска	Sc	Y	Ce	Ca	Fe
Сигнал/фон	П:Ф 1:2	0,75	1,65	0,87	453	1462
	П:Ф 1:4	0,61	1,24	0,88	362	1357
Относительное СКО, %	П:Ф 1:2	5,13	0,40	0,17	0,43	0,39
	П:Ф 1:4	7,10	0,67	1,13	1,01	2,60

На заключительном этапе был выбран оптимальный несмачивающий агент. Литий-боратный расплав достаточно хорошо смачивает платиновую изложницу, что приводит к растрескиванию диска при застывании и неудовлетворительному отделению от изложницы. Для решения данной проблемы проведены исследования влияния несмачивающих агентов на поверхностное натяжение расплавов с целью стабилизации формирования дисков. В качестве таких агентов использованы переплавленные соли LiF, NaCl, KBr, KI, анионы которых могут выступать в качестве поверхностно-активных веществ для литий-боратных флюсов [5, 7]. Массу вводимых солей варьировали от 0,15 до 0,25 г.

Установлено, что эффективность действия несмачивающих агентов в рассматриваемых системах увеличивается от фтора к йоду, наблюдается корреляция эффективности отделения дисков от изложницы с радиусом галоген-ионов. Использование фторида лития, оптимального по составу агента для РФА, оказалось крайне неэффективным — диск с красным шламом при застывании растрескивается и плохо отделяется от изложницы, увеличение количества соли в расплаве к заметным улучшениям не приводит.

Наиболее эффективным несмачивающим агентом оказался йодид калия, при его использовании плав легко отделяется от изложницы, стеклянный диск не имеет видимых дефектов, а верхняя поверхность диска плоская. Однако йодид-ионы имеют много собственных спектральных линий, которые существенно затрудняют анализ состава многокомпонентного красного шлама. Кроме того, при использовании йодида и бромид калия наблюдается выделение паров брома и йода. Использование бромид калия также оказалось достаточно эффективным, однако бромид-ионы тоже имеют достаточно большое количество собственных спектральных линий, а сама соль гигроскопична.

На основании этого в качестве несмачивающего агента выбран хлорид натрия. Данная соль обеспечивает хорошее отделение плава от изложницы, хлор при сплавлении не выделяется, соль негигроскопична, а спектральные линии хлора и натрия минимально мешают при определении состава пробы. Рекомендуемая масса соли 0,15 г, увеличение количества вводимого галогенида не оказывает заметного влияния на степень вогнутости дисков или эффективность их отделения от изложницы.

Выводы

Разработана методика подготовки литий-боратных дисков для рентгенофлуоресцентного анализа красного шлама на аппарате «KATANAX K1 PRIME». Минимально возможное соотношение массы пробы и флюса 1:2, однако при таком составе стеклянного диска обнаружено неполное растворение красного шлама во флюсе, что необходимо учитывать при создании образцов сравнения. Полное растворение красного шлама в литий-боратном флюсе наблюдается при П:Ф от 1:4, но при этом происходит потеря интенсивности сигнала в результате более высокого разбавления пробы. В качестве оптимального несмачивающего агента предложен хлорид натрия, который обеспечивает хорошее отделение образцов от изложницы.

Литература

1. *Wu Ch., Liu D.* Mineral Phase and Physical Properties of Red Mud Calcined at Different Temperatures // *Journal of Nanomaterials*. 2012. Article ID 628592.
2. *Dodoo-Arhin D., Konadu D.S., Annan E., Buabeng F. P., Yaya A., Agyei-Tuffour B.* Fabrication and Characterisation of Ghanaian Bauxite Red Mud-Clay Composite Bricks for Construction Applications // *American Journal of Materials Science*. 2013. 3(5). P. 110–119.
3. *Ghorbani A., Fakhariyan A., Basic J.* Recovery of Al_2O_3 , Fe_2O_3 and TiO_2 from Bauxite Processing Waste (Red Mud) by Using Combination of Different. *Appl. Sci. Res.* 2013. 3(1s). P. 187–191.
4. Эрхардт Х. Рентгенофлуоресцентный анализ. Применение в заводских лабораториях. М.: Металлургия, 1985.
5. *Claisse F., Blanchette D. S.* Physics and Chemistry of Borate Fusion for X-Ray Fluorescence Spectroscopists. Fernand Claisse Inc. Publ. 2008.
6. Борходоев В. Я., Пенъевский С. Д., Соцкая О. Т. Подготовка легированных стеклянных литий-боратных дисков для рентгенофлуоресцентного анализа горных пород на плавильной установке VULCAN 4 // *Аналитика и контроль*. 2013. 17(2). С. 141–147.
7. *Nakayama K., Shibata Y., Nakamura T.* Glass Beads X-ray Fluorescence Analyses of 42 Components in Felsic Rocks // *X-ray Spectrometry*. 2007. 36. P. 130–140.

А. А. Баранова, А. Д. Скупов

ПРИБОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ И НАРКОТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Рассматриваются проблемы по обнаружению паров взрывчатых веществ. Разработана электронная схема. Предложена идея для значительного увеличения чувствительности прибора. Рассматривается применение твердотельного фотоэлектронного умножителя в качестве фоточувствительного элемента.

Ключевые слова: *террор, электронная схема фотодетектор, твердотельный ФЭУ.*

Authors consider the problems detection of vapors explosives. Electronic scheme has been created. Authors request the idea of significant increase sensitivity of the device. Application of solid-state photomultiplier as the photosensitive element has been considered.

Keywords: *terror, electronic scheme, photodetector, solid-state photomultiplier.*

Терроризм является одной из самых актуальных проблем в современном мире. Террористические акты происходят в местах большого скопления людей, в основном это ж.-д. вокзалы, аэропорты, метро. В данных учреждениях имеются приборы по обнаружению паров взрывчатых веществ (ВВ), но все они являются стационарными. Поэтому в мире создаются приборы, которые являются мобильными, что помогает спецслужбам оперативно обнаруживать ВВ. Примером такого прибора служит канадский «Е-3500», обладающий следующими характеристиками:

- Габариты — $52 \times 26 \times 39$ см;
- Масса — 3 кг;
- Время подготовки к работе — 60 с;
- Время отбора пробы — 5...30 с.

На кафедре экспериментальной физики совместно с ООО «НПО Уралпроектавтоматика» также ведется разработка прибора, который может регистрировать пары взрывчатых веществ и который будет превосходить по техническим параметрам вышеупомянутый прибор «Е-3500». Принцип действия данного прибора состоит в регистрации тушения люминесценции, т. е. изменение светового потока элемента, который изменяется при взаимодействии с парами взрывчатых веществ [1–3].

В прошлом году разработан стенд для исследования свойств сенсорных элементов, использующий данный принцип регистрации паров ВВ. Были проведены многочисленные исследования и доказано, что данный принцип регистрации является работоспособным, чем и обосновано дальнейшее развитие данной идеи [4].

Основная задача заключалась в проведении исследований с целью повышения чувствительности прибора. Для этого требуется увеличить чувствительность фотоприемника. На начальном этапе разработки в качестве датчика были испытывались фотодиоды различных типов без обратного смещения. Для повышения чувствительности на фотодиоды необходимо подавать напряжение смещения. Оно обычно известно из технической документации на элемент, но на практике иногда требуется подбирать это значение экспериментально.

Были исследованы различные схемы формирователей напряжения, в частности использованы схемы с умножителем напряжения. Ввиду того, что такая схема используется с переменным входным напряжением, был разработан генератор прямоугольных импульсов, которые подавались на умножитель. Собрав несколько каскадов умножения, напряжение питания датчика повысилось с 5 до 16 В. Дальнейшее повышение не имело смысла, т. к. рост чувствительности замедлялся.

Интегрировав схемы с различными схемами питания фотодиода в прибор, были проведены исследования, показывающие, насколько повысилась чувствительность. Проанализировав данные, был сделан вывод, что повышение чувствительности было не более чем в 1,5 раза. Такое повышение не является достаточным для существенного улучшения чувствительности. Следовательно, требовалось заменить фотодиод принципиально новым элементом, который способен самостоятельно усиливать сигнал.

Таким элементом является фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Учитывая, что прибор является мобильным, то использование вакуумных ФЭУ было затруднительно из-за их размеров и высокого (сотни — тысячи вольт) напряжения питания. Но прогресс не стоит на месте, поэтому были использованы новые детекторы — Si ФЭУ.

Кремниевый фотоумножитель представляет собой микропиксельный лавинный фотодиод, работающий в гейгеровском режиме и предназначенный для счета фотонов. Важной характеристикой ФЭУ является то, что он имеет собственный коэффициент усиления фототока порядка 10^6 . Как и фотодиоды, ФЭУ требует обратного смещения. Т. к. усиление требует дополнительного потребления, схемы питания, разработанные для фотодиодов, не удовлетворяют по критерию мощности. Поэтому для ФЭУ был разработан блок питания большей мощности с регулируемым выходным напряжением. Для блока питания выбрана микросхема MC34063. Она позволяет инвертировать входное напряжение с последующим увеличением.

Важным критерием было то, что данная схема стабилизирует выходное напряжение. Ее принцип действия позволил создать регулируемое выходное напряжение. Данная регулировка обусловлена тем, что при изменении напряжения смещения меняется чувствительность ФЭУ. Пределы регулирования были выбраны исходя из характеристик, которые представлены в его технической документации. Данный блок питания ФЭУ был собран на макетной плате, проведен монтаж ком-

понентов и тестирование в рабочем режиме. Подана заявка на полезную модель по структурной схеме [5].

На следующем этапе проведена работа по трассировке печатной платы в специализируемом программном пакете для разработки монтажных плат P-CAD. Произведен монтаж платы и проводится ее интеграция в прибор. Следующим этапом будет проведение исследований по количественному повышению чувствительности и измерению характеристик прибора в целом.

Литература

1. Баранова А. А. Исследование сенсорного материала для обнаружения взрывчатых веществ. Материалы конф. ВНКСФ-20. Ижевск, 2014. С. 277–278.
2. Баранова А. А., Хохлов К. О. Исследование оптических свойств материала для обнаружения взрывчатых веществ: тез. докл. // I Международная молодежная научная конференция, посвященная 65-летию основания Физико-технологического института. Екатеринбург, 2014. С. 20.
3. Баранова А. А., Ищенко А. В., Хохлов К. О. и др. Исследование спектрально-люминесцентных свойств материала М1 для обнаружения взрывчатых веществ // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: вуз.-акад. сб. науч. тр. 2014. Вып. 33. С. 25–36.
4. Баранова А. А., Хохлов Г. К., Хохлов К. О. Экспериментальный стенд для исследования свойств сенсоров нитросодержащих взрывчатых веществ // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: вуз.-акад. сб. науч. тр. 2014. Вып. 33. С. 37–43.
5. Прибор для мобильного обнаружения взрывчатых и наркотических веществ: заявка 2014146811 Рос. Федерация.

Б. Т. Будаи, Б. А. Калинин, Г. И. Лапшин

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Рассматривается основная причина создания фона в масс-спектрометре — метастабильные ионы, а также программа обработки масс-спектрометрических данных при высоком уровне фона. Моделирование спектра позволяет проанализировать достигнутую чувствительность измерений, указать на недостатки и возможности их устранения.

Ключевые слова: *масс-спектр, метастабильные ионы, статистическая обработка.*

Is considered the main reason for creating the background in the mass spectrometer — metastable ions, as well as processing program of mass spectrometric data with a high background level. Simulation of the spectrum allows us to analyze the achieved sensitivity measurements indicate the shortcomings and their possible solutions.

Keywords: *mass spectrum, metastable ions, statistical processing.*

При обработке масс-спектров базовый предел точности измерения интенсивности задает ионная статистика. Величина стандартного отклонения параметров изолированного пика зависит от числа ионов, обуславливающих пик. Однако во многих случаях основной вклад в вариацию при малых количествах образца, когда становятся значительными статистические эффекты, вносит фон. Причины фона разнообразны и зависят от типа масс-спектрометра, способа ионизации и других причин. В секторном масс-спектрометре с одинарной фокусировкой основной причиной фона являются метастабильные ионы [1]. При ионизации электронным ударом значительная часть ионов образуется в метастабильном состоянии со временем жизни, сопоставимом со временем пролета ионов от источника ионов до приемника ионов. Траектории дочерних ионов зависят от места распада родительских ионов, что приводит к появлению в масс-спектре фоновых линий и непрерывного фона, называемого помехой. На рис. 1 представлен фон метастабильных ионов области легких масс. В его формировании принимают участие в основном остаточные углеводороды.

Уровень фона возрастает более чем в сто раз при анализе гексафторида урана (рис. 2). Масс-спектр на рисунке содержит кроме фона пик ионов фторуглерода с массовым числом 306.

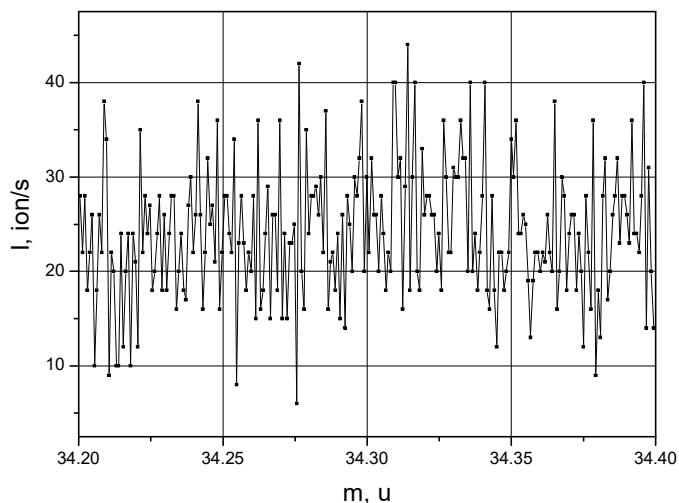


Рис. 1. Фон метастабильных ионов области легких масс

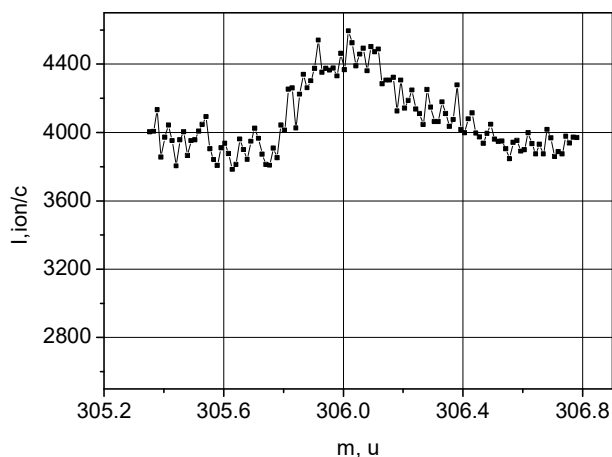


Рис. 2. Фон метастабильных ионов при анализе гексафторида урана

Фон метастабильных ионов снижает предельную чувствительность обнаружения малых примесей (обнаруживаемых сигналов) и может вносить дополнительную погрешность в измерения концентрации малораспространенных изотопов. Разработчики и изготовители масс-спектрометров (Thermo Fisher Scientific) принимают меры к снижению помехи от метастабильных ионов.

Масс-спектр поступает на обработку в виде текстового файла из двух столбцов: первый — масса в атомных единицах массы (u) и второй — интенсивность ионного тока (ion/s).

Суть обработки [2] состоит в разбиении всего масс-спектра на зоны пиков и обработки каждого пика путем аппроксимации его функцией Гаусса по методу наименьших квадратов (МНК). МНК реализован по способу определителей с последовательным приближением параметров к минимуму суммы квадратов отклонений. Функция Гаусса выбрана в следующем виде:

$$Y = A + B \cdot e^{-(1,6651 \cdot R \cdot (X/M - 1))^2},$$

где Y — интенсивность ионного тока, ion/s; X — массовая координата спектра, u; A — фон в месте расположения пика, ion/s; B — высота пика, отсчитанная от уровня фона, ion/s; M — положение центра пика, u; R — безразмерный параметр, определяющий форму пика и равный отношению M к ширине пика на половине высоты.

При обработке предполагается, что мешающая помеха является смесью коррелированного и некоррелированного гауссового процесса.

Масс-спектр дублета ^{21}Ne - ^2HF и кривая его аппроксимации, выполненная с помощью данного метода, двумя гауссовыми кривыми приведена на рис. 3. Однозначность аппроксимации подтверждается существованием интервала сходимости процедуры расчета. Так, например, для начального значения массы ^2HF (20,012 u) этот интервал составляет от -6 до $+8$ mmu. Рассчитанные значения масс (20,9937 u и 21,0119 u) хорошо (в пределах 1 mmu) согласуются с табличными (20,9939 u и 21,0125 u). Кроме того, отношение высот пиков ^{22}Ne и ^{21}Ne с точностью погрешности измерений (13 %) согласуется с табличными данными. Для ^2HF рассчитанная по масс-спектру концентрация дейтерия в водороде составила $(1,44 \pm 9) \cdot 10^{-4}$, что также согласуется с табличным значением $1,5 \cdot 10^{-4}$.

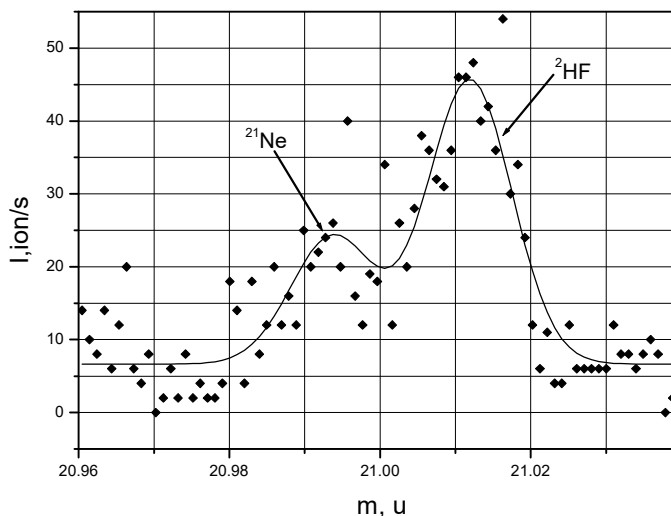


Рис. 3. Масс-спектр дублета ^{21}Ne - ^2HF

Предельные возможности обнаружения сигналов при высоком уровне шума могут быть установлены при эмуляции (моделировании) масс-спектрометрического пика.

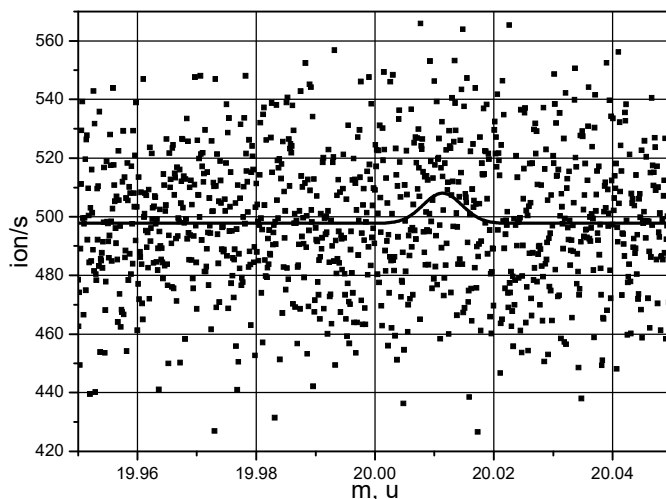


Рис. 4. Результаты обработки эмулированного пика (гауссов шум)

Эмулируемый пик рассчитывался по вышеприведенной формуле со значениями параметров: фон $A = 500$, высота пика $B = 10$ параметр ширины пика $R = 2000$, положение вершины пика $M = 20,013$. Коэффициент $1,6651$ введен для удобства с той целью, чтобы ширина пика на половине высоты была равна M/R , т. е. в нашем случае ширина пика равна $0,01$ u. На рассчитанный пик в каждой точке накладывались шумы с гауссовым распределением и стандартным отклонением \sqrt{Y} . Округление числа ионов до целого числа во избежание появления дополнительных шумов не производится.

Для эмулированного пика отношение шум-сигнал равно 50 и близко для приведенной методики обработки к предельному. Рассчитаны 1001 точка в интервале 19,95–20,05 u. Расчет параметров пика с учетом стандартных отклонений дал результаты, согласующиеся с величинами заложенными в модель:

$$A = 497,735\,937\,900 \pm 0,818\,431\,727;$$

$$B = 10,288\,583\,390 \pm 3,819\,891\,606;$$

$$R = 2586,521\,911 \pm 1134,036\,577;$$

$$M = 20,011\,361\,140 \pm 0,001\,392\,288.$$

Интервал сходимости по начальному значению параметра M составил 20,006–20,018.

Как недостаток приведенной методики обработки масс-спектров можно отметить, что, во-первых, не учитывается неравноточность отдельных отсчетов на гауссовой кривой; во-вторых, учитываются только корреляционные отличия сигнала и помехи. Сущность предлагаемых решений заключается в том, что нужно учитывать не только неравноточность и корреляционные отличия сигнала и помехи, но и амплитудные отличия сигнала и помехи путем учета различий между плотностью распределения смеси сигнала с помехой и плотностью распределения помехи. Как показывают результаты моделирования, можно повысить чувствительность процесса измерения минимум в 3–4 раза по отношению сигнал — помеха, что эквивалентно выигрышу по времени накопления на порядок и более.

Кроме того, следует отметить, что для малых абсолютных значений шума (~ 10 ионов/с) более корректно использовать пуассоновский шум, поскольку для гауссового шума будут появляться отрицательные значения отсчетов.

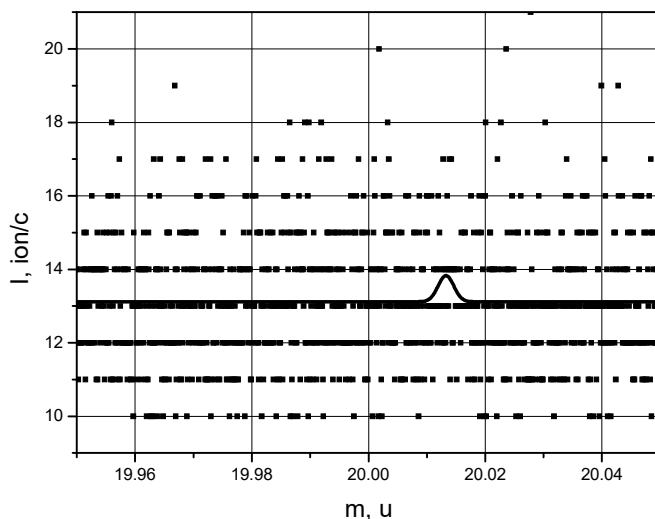


Рис. 5. Результаты обработки эмулированного пика (пуассонов шум)

На рис. 5 приведены результаты обработки эмулированного пика гауссовской формы с параметрами: число измерений 1001 в диапазоне масс 19,95–20,05 у, при фоне 10 высота пика 0,5 положение 20,013 у. Пуассонов шум как и в предыдущем случае имеет стандартное отклонение \sqrt{Y} .

Литература

1. Казгов М. А., Калинин Б. А., Александров О. Е., Волобуев П. В. Влияние метастабильных ионов на формирование масс-спектра магнитного прибора с одинарной фокусировкой // Масс-спектрометрия. 2009. Т. 8, № 1. С. 15–19. [J. Anal. Chem. 2011. V. 66, N 14].
2. Соломеев А. А., Калинин Б. А., Александров Л. М. Программа обработки масс-спектров // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7. № 1. С. 35–39.

Б. Т. Будаи, К. А. Снегин

ПОИСК ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ В КОНТУРАХ УПРАВЛЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Для повышения точности измерения координат наблюдаемого объекта обычно используют замкнутые контуры управления ОЭС (КУ ОЭС). Однако в таких КУ ОЭС могут возникать автоколебания (АК) с большой амплитудой, сопоставимой с амплитудой допустимой ошибки КУ ОЭС, и с частотой, близкой к частоте среза КУ ОЭС. Показано, что к таким АК могут приводить дефекты большинства блоков КУ ОЭС. Выявлено, что в случае исправных блоков КУ ОЭС такие АК могут быть обусловлены квантованием по времени и уровню. Для устранения АК, обусловленных этими дефектами, разработаны рекомендации, применение которых позволяет исключить АК с большой амплитудой.

Ключевые слова: автоколебания, оптико-электронные системы, контур управления, точность измерения координат.

Nowadays it is more and more important the application of optoelectronic systems (OES). To increase the measurement accuracy of the coordinates observed object are commonly used control loops of ECO (CL OES). In such CL OES can arise self-oscillations (SO) with large amplitude, comparable to the amplitude of the permissible error of CL OES and with a frequency close to the cut-off frequency of CL OES. There were found algorithms, ensuring the elimination of AK with large amplitude.

Keywords: self-oscillations, optoelectronic systems, control loop, measurement accuracy of coordinates.

При обнаружении техногенных аварий, затерявшихся судов в море и пр. все более актуально применение ОЭС [1–3]. В ОЭС информация об объекте $\alpha_{ог}(t)$ поступает в приемник (Пр), откуда сигнал с периодом T_0 подается в аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а затем поступает в измеритель координат (ИК) (рис. 1а). После измерения сигнал поступает на корректирующий фильтр (КФ), затем на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Привод платформы (ПП) поворачивается на угол $\hat{\alpha}_{ог}(t)$, соответствующий измеренным координатам объекта. Известно, что в Пр проявляется абберрация: начиная от «размытия» изображения до отклонения проекции изображения объекта в плоскости фотомишени Пр [2, с. 94]. Также имеются нелинейные искажения в ПП. Для уменьшения этих искажений вводят отрицательную обратную связь по рассогласованию (рис. 1б) $\Delta\alpha_{ог}(t) = \alpha_{ог}(t) - \hat{\alpha}_{ог}(t)$ [3, с. 11–14]. Координаты в ИК измеряют с шагом $\Delta_{кв}$ в каждом n -м кадре

$\Delta\hat{\alpha}_{об}(n \cdot T_{\partial}) = \hat{i}(n \cdot T_{\partial}) \cdot \Delta_{кв}$ по критерию максимума корреляции между эталонным $U_{э\tau}(k)$ и текущим $U_m(i(n \cdot T_{\partial}))$ изображениями [2, с. 316; 3, с. 74]

$$\hat{i}(n \cdot T_{\partial}) = \max_i (R(i(n \cdot T_{\partial}))), \quad (1)$$

где $R(i(n \cdot T_{\partial})) = \sum_k U_{э\tau}(k) \cdot U_m(i(n \cdot T_{\partial}) + k)$. Значение шага измерения $\Delta_{кв}$ соответствует размеру поля зрения $\alpha_{ПЗ}$ и количеству разрешаемых строк $Pr N_{Пр}$: $\Delta_{кв} = \alpha_{ПЗ} / N_{Пр}$. С учетом [1, 4] $\alpha_{ПЗ} \approx (2, 2...3)$ град, $N_{Пр} = 576$. При этом $\Delta_{кв} \approx (1/4...1/3)$ угл. мин. Традиционно к ошибке управления предъявляют требования $|\Delta\alpha_{об}(t)| \leq \Delta_{дон}$ [3, с. 152]. Обычно величина допустимой ошибки $\Delta_{дон} \approx 1$ угл. мин. [1], что соответствует

$$\Delta_{дон} \approx (3...4) \cdot \Delta_{кв}. \quad (2)$$

Как показывает экспериментальное исследование и математическое моделирование, когда нет ни динамической $\Delta\alpha_{\partial}(t)$, ни флюктуационной $\Delta\alpha_{фл}(t)$ ошибок, в КУ ОЭС могут возникать автоколебания (АК) с параметрами

$$\begin{cases} A_{АК} \approx (2...3) \cdot \Delta_{кв}, \\ f_{АК} \approx f_{ср}, \end{cases} \quad (3)$$

где $A_{АК}$, $\Delta_{кв}$, $f_{АК}$, $f_{ср}$ — амплитуда АК, шаг пространственного квантования в АЦП, частота АК и частота среза КУ ОЭС соответственно.

Амплитуда (3) таких АК сопоставима с величиной допустимой ошибки КУ ОЭС (2), что обуславливает необходимость учета и этой составляющей ошибки

$$\Delta\alpha_{об}(t) = \Delta\alpha_{\partial}(t) + \Delta\alpha_{фл}(t) + \Delta_{АК}(t). \quad (4)$$

Это обуславливает интерес к поиску причин таких АК.

Традиционный путь поиска причин возникновения АК в КУ ОЭС

Обычно квантование сигнала по амплитуде учитывают как дополнительную среднеквадратическую ошибку $\sigma_{кв}$, которая с учетом равномерного распределения ошибки равна $\sigma_{кв} = \Delta_{кв} / \sqrt{12}$. Но это значение намного меньше значений (3). При анализе АК в замкнутых КУ ОЭС обычно анализируют коэффициент передачи разомкнутой цепи КУ [5–7], который в режиме АК должен быть равным

$$K_p(p, A) = -1, \quad (5)$$

где $p = j \cdot \omega$, ω — круговая частота, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, A — амплитуда АК [6, с. 944], при этом (рис. 16) $K_p(p, A) \approx K_{Пр}(p) \cdot K_n(A) \cdot K_{ИК}(p) \cdot K_{КФ}(p) \cdot K_{ЦАП}(p) \cdot K_{ПП}(p)$. Коэффициент передачи приемника при этом [4]

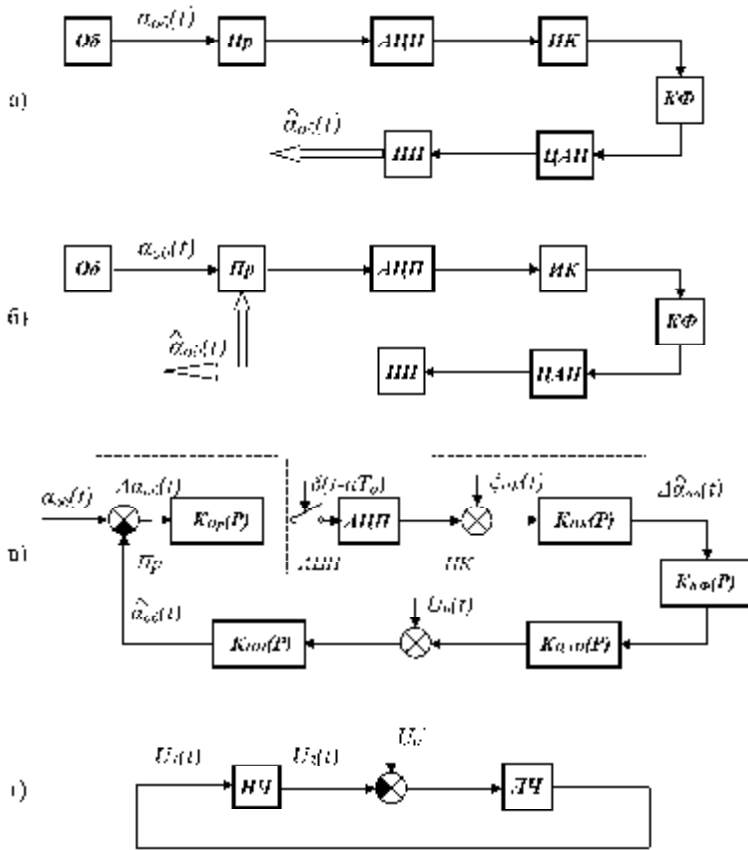


Рис. 1. Преобразования КУ ОЭС для анализа причин возникновения АК

$$K_{Пр}(j \cdot \omega) \approx \frac{1 - \exp(-j \cdot \omega \cdot T_d)}{j \cdot \omega \cdot T_d} \cdot \exp(-j \cdot \omega \cdot \Delta T(S)), \quad (6)$$

где T_d — период дискретизации сигнала, $\Delta T(S)$ — эквивалентная межпериодная

задержка сигнала в приемнике как функция освещенности S : $\Delta T(S) \approx \begin{cases} 0, & S \geq S_{нор}, \\ > 0, & S < S_{нор}, \end{cases}$

$S_{нор}$ — пороговое значение освещенности. Традиционно АЦП — практически безынерционный нелинейный элемент квантования. Нелинейное преобразование в АЦП описывается статистически усредненным линеаризованным коэффициентом передачи [6, с. 946]

$$K_n(A) = \frac{\frac{1}{T_{AK}} \cdot \int_{\frac{T_{AK}}{2}}^{\frac{T_{AK}}{2}} U_2(U_1(t)) \cdot dt}{A}, \quad (7)$$

где T_{AK} , A — период и амплитуда первой гармоники сигнала АК,

$$U_1(t) \approx A \cdot \cos(w_{AK} \cdot (t - t_0)) + U_0, \quad (8)$$

$U_2(U_1(t))$ — вид нелинейного преобразования, U_0 — квазипостоянная составляющая ошибки управления.

Измеритель координат (ИК) объекта обычно эквивалентен задержке [3, с. 151]

$$K_{ИК}(j \cdot w) \approx \exp(-j \cdot w \cdot T_{ИК}), \quad (9)$$

при этом обычно $T_{ИК} \approx T_{\kappa}$. Коэффициент передачи КФ обычно изменяет фазовую характеристику разомкнутого контура и с учетом [3, с. 155] имеет вид

$$K_{КФ}(j \cdot w) \approx K_0 \cdot \frac{1 + j \cdot w \cdot T_1}{C_0 + j \cdot w \cdot T_2}, \quad (10)$$

где $C_0 = 0 \dots 1$. Коэффициент передачи ЦАП обычно эквивалентен коэффициенту передачи экстраполятора нулевого порядка [3, с. 151]

$$K_{ЦАП}(j \cdot w) \approx \frac{1 - \exp(-j \cdot w \cdot T_d)}{j \cdot w \cdot T_d}, \quad (11)$$

коэффициент передачи ПП обычно описывается линейным коэффициентом передачи [5, с. 68] $K_{ПП}(j \cdot w) = \frac{1}{j \cdot w \cdot T_0} \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot \xi \cdot j \cdot w \cdot T_{ПП} - T_{ПП}^2 \cdot w^2}$. Обычно $T_{ПП} \approx 10^{-0.5} \cdot T_d$, $2 \cdot \xi \approx 1$. Поэтому на частотах среза $f_{cp} < f_d / 2$ выражение (11) можно представить

$$K_{ПП}(j \cdot w_{cp}) \approx \frac{\exp(-j \cdot w_{cp} \cdot T_{ПП})}{j \cdot w_{cp} \cdot T_0}, \quad (12)$$

где $w_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot f_{cp}$.

Для удобства анализа систем с квантованием по времени и нелинейным амплитудным преобразованием КУ сводят к эквивалентной системе, непрерывной по времени: безынерционной нелинейной части (НЧ) и инерционной линейной части (ЛЧ) (рис. 1г) [6, с. 759; 7]. При этом коэффициент передачи (5) разомкнутого КУ для анализа удобно представить в виде

$$K_p(j \cdot w, A) = K_n(A) \cdot K_{\pi}(j \cdot w). \quad (13)$$

Вид коэффициента передачи $K_n(A)$ АЦП (7) для релейной нелинейной характеристики (РНХ) в нуле (рис. 2б) и нелинейной характеристики в виде зоны нечувствительности (НХЗН) в нуле (рис. 2в) представлен на рис. 2г и рис. 2д.

Условие существования АК (5) удобно представить как условие баланса фаз и амплитуд. Условие баланс фаз выполняется на частоте f_1

$$\arg(K_{\pi}(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1)) = \pi. \quad (14)$$

При этом в рассматриваемом КУ ОЭС [3, с. 160]
$$\begin{cases} f_1 \approx f_{\partial}/2, \\ K_n(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1) \sim -10^{-0.5}. \end{cases}$$

Для того, чтобы выполнялся и баланс амплитуд, необходимо выполнение условия

$$|K_n(A) \cdot K_n(j \cdot \omega)| = 1. \quad (15)$$

С учетом выражений (14), (15) баланс фаз выполняется при $K_n(A) \sim 10^{0.5}$, что достигается при

$$A \sim 10^{-1} \cdot \Delta_{\kappa\partial}. \quad (16)$$

Таким образом КУ с квантованием по уровню обычно характеризуется дополнительной малой ошибкой либо в виде некоррелированной помехи квантования с $\sigma_{\kappa\partial} = \Delta_{\kappa\partial} / \sqrt{12}$, либо в виде АК с амплитудой АК (16). Но в обоих случаях процессы отличаются от процесса с параметрами (3). Это вызывает необходимость поиска причин возникновения таких АК.

Поиск причин возникновения АК с параметрами, соответствующими наличию дефектов в КУ ОЭС

При амплитудах АК (3) с учетом (5) и (14) выполняется баланс амплитуд

$$\begin{cases} K_n(A) \approx 1, \\ |K_n(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{cp})| = 1. \end{cases} \quad (17)$$

На этих частотах не должен выполняться баланс фаз, т. к. [3, с. 157–160]

$$\phi_3 \approx \pi/6 \dots \pi/4, \quad (18)$$

где $\phi_3 = \arg(K_p(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{cp})) + \pi$.

Вышеизложенные причины говорят о наличии ранее неучитываемых сдвигов фаз в КУ ОЭС, обусловленных квантованием сигнала по времени и по уровню.

При $U_0^* = 0$ на рис. 2д штрихпунктирной линией показана первая гармоника сигнала АК на входе НЧ $U_1(t)$ (8). Сплошной линией показан результат релейного преобразования $U_2(t)$ сигнала АК $U_1(t)$ (8) на выходе НЧ в виде релейного элемента

$$U_2(n \cdot T_{\partial}) = \Delta_{\kappa\partial} / 2 \cdot \text{sign}(U_1(n \cdot T_{\partial})). \quad (19)$$

Хотя процесс $U_2(n \cdot T_{\partial})$ (19) рассматривается в дискретные моменты времени $t = n \cdot T_{\partial}$, он считается непрерывным [6]. Первая гармоника сигнала АК, соответ-

ствующая нелинейно преобразованному сигналу $U_2(n \cdot T_\delta)$ (19), показана на рис. 1д штрихом

$$U_2^*(n \cdot T_\delta) = A_2^* \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot w_{AK} \cdot (n \cdot T_\delta - t_0) + \phi_{c0}), \quad (20)$$

где

$$\phi_{c0} = 2 \cdot \pi \cdot f_{AK} \cdot \tau_{c0}. \quad (21)$$

С учетом [6, с. 942–944], [7]

$$-T_\delta / 2 < \tau_{c0} < T_\delta / 2. \quad (22)$$

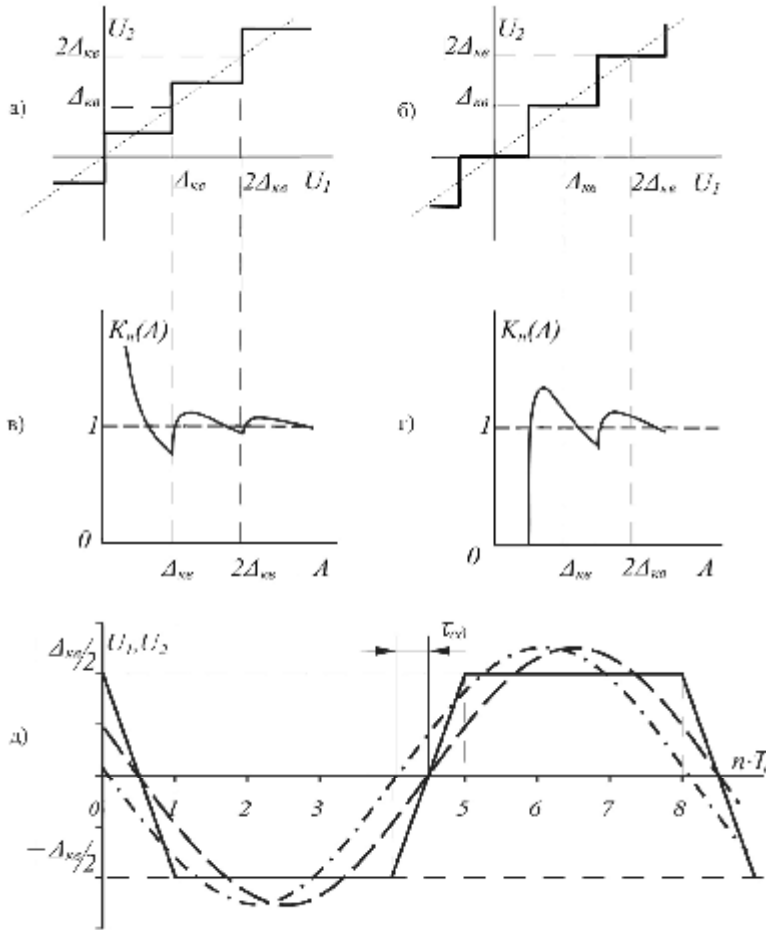


Рис. 2. Определение эквивалентных линейных параметров квантователя по времени и квантователя по уровню

Из выражений (3), (21), (22) следует, во-первых, что в типовом КУ ОЭС с запасами по фазе (18) на частоте среза типового КУ ОЭС $f_{cp} \approx f_\delta / 4$ [3, с. 160] возможны АК с большой амплитудой (3); во-вторых, для того, чтобы квантование по времени

существенно не сказывалось на возникновение АК с большой амплитудой (3), необходимо, чтобы частота среза КУ была много меньше частоты дискретизации

$$f_{cp} \ll f_{\partial}. \quad (23)$$

На частотах $i \cdot f_{cp}$, соответствующих условию (23), возможен ощутимый уровень высших гармоник сигнала АК. Для примера рассмотрим первоначально НЧ с РНХ в нуле (рис. 3а, штриховая линия).

При этом изначально на входе НЧ сигнал АК представлен первой гармоникой и постоянной составляющей: $U_1(t) = A \cdot \cos(w_{AK} \cdot (t - t_0)) + U_0$ (8). Для простоты анализа сигнал на выходе НЧ $U_2(U_1(t))$ (рис. 3, толстая линия, τ_1 — длительность импульса сигнала АК) представлен тремя составляющими: первой гармоникой, второй гармоникой и постоянной составляющей

$$U_2(t) \approx A_n(1) \cdot \cos(w_{AK} \cdot (t - t_0)) + A_n(2) \cdot \cos(2 \cdot w_{AK} \cdot (t - t_0)) + U_0. \quad (24)$$

В следующем периоде АК учитываются и высшие гармоники

$$U_1(t) \approx \sum_{r=1}^{\infty} B_n(r) \cdot \cos(r \cdot w_{AK} \cdot (t - t_0) + \Delta\phi(r \cdot w_{AK})) + U_0, \quad (25)$$

где

$$B_n(r) = K_p(r \cdot w_{AK}) \cdot A_n(r), \quad (26)$$

при этом модуль коэффициента передачи $K_p(r \cdot w_{AK}) = |K_p(j \cdot r \cdot w_{AK})|$, $r = 1, 2, 3, \dots$, $\Delta\phi(r \cdot w_{AK}) = \phi(r \cdot w_{AK}) - r \cdot \phi(w_{AK})$, $\phi(w) = \arg(K_p(j \cdot w))$.

Из рис. 3б видно, что если имеется сдвиг фазы второй гармоники $\Delta\phi(2 \cdot w_{AK}) \neq 0$, то при нелинейном преобразовании возникает сдвиг фазы первой гармоники второй гармоникой на величину $\tau_n = (\tau_{n1} + \tau_{n2})/2$.

Для аналитической оценки величины τ_n целесообразно понизить степень уравнения (25) [8]. С учетом выражений (5)–(12) амплитуды гармоники убывают

$$K_p(r \cdot w_{AK}) \leq 1/r. \quad (27)$$

На рис. 3в представлена амплитуда спектра $\bar{A}_n(r) = A_n(r)/A_n(1)$ (26) как функция длительности импульса $2 \cdot \tau_1/T_{AK}$, где

$$A_n(r) = \frac{\Delta_{кв}}{2} \cdot \frac{2 \cdot \tau_1}{T_{AK}} \cdot \frac{\sin(\pi/2 \cdot r \cdot (2 \cdot \tau_1/T_{AK}))}{\pi/2 \cdot r \cdot (2 \cdot \tau_1/T_{AK})}. \quad (28)$$

Из выражений (27), (28) следует, что гармоники нормированного сигнала АК (26) $\bar{B}_n(r) = B_n(r)/B_n(1)$ обратно пропорциональны квадрату номера гармоники $\bar{B}_n(r) \sim 1/r^2$. При этом наиболее существенны 2-я и 3-я гармоники.

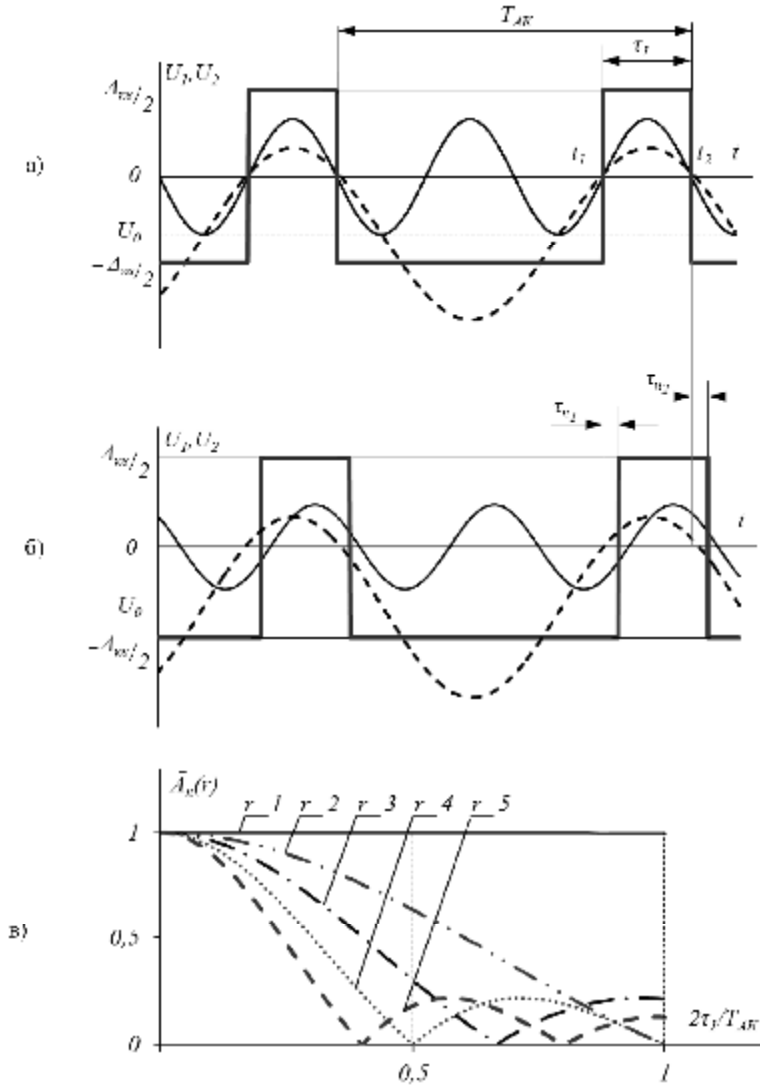


Рис. 3. Учет сдвига фаз первой гармоники высшими гармониками АК

При этом если вид нелинейного преобразования НЧ — РНХ, то наиболее существенна вторая гармоника, если — НХЗН, то наиболее существенна третья гармоника (т. к. вторая отсутствует). Сдвиг фазы первой гармоники высшими гармониками $\phi_n(w) \approx w \cdot (\tau_{n1} + \tau_{n2})/2$ можно представить [8]

$$\begin{cases} \phi_n(w) \approx \frac{1}{2} \cdot \arctg \left(\frac{4 \cdot \bar{B}_n(2 \cdot w) \cdot \sin(\Delta\phi(2 \cdot w))}{1 + 4 \cdot \bar{B}_n(2 \cdot w) \cdot \cos(\Delta\phi(2 \cdot w))} \right), & \text{РНХ,} \\ \phi_n(w) \approx \frac{1}{3} \cdot \arctg \left(\frac{9 \cdot \bar{B}_n(3 \cdot w) \cdot \sin(\Delta\phi(3 \cdot w))}{1 + 9 \cdot \bar{B}_n(3 \cdot w) \cdot \cos(\Delta\phi(3 \cdot w))} \right), & \text{НХЗН.} \end{cases} \quad (30)$$

Можно показать, что в типовых КУ ОЭС с частотой среза $f_{cp} \approx f_{\delta} / 4$ из-за квантования по времени и уровню могут возникать значительные фазовые сдвиги первой гармоники (21), (30), что может приводить к АК с параметрами (3), соответствующими дефектам блоков КУ ОЭС.

Для того чтобы исключить влияние квантования по времени на амплитуду АК, необходимо, чтобы частота среза КУ ОЭС была много меньше частоты повторения кадров (23). Для этого за рубежом на порядок увеличивают частоту повторения телевизионных кадров до $f_{\delta} = 500$ Гц. При этом, во-первых, это уменьшает время накопления изображения в плоскости фотоприемника на порядок, что приводит к снижению отношения сигнал/шум на полпорядка; во-вторых, это усложняет обработку видеосигнала, т. к. полоса видеосигнала увеличивается с 8 до 80 МГц [9]. Предлагается другой путь решения этой проблемы: учет не только второй [3], но третьей производной входного возмущения. Это позволит создавать системы с астатизмом третьего порядка с частотой среза $f_{cp} \sim 1$ Гц, что на порядок меньше, чем в типовом КУ ОЭС [3, с.160]. Это приведет не только к уменьшению амплитуды АК, но и уменьшению динамической и флюктуационной ошибки (4).

Чтобы уменьшить влияние квантования по уровню на амплитуду АК (31), можно применять интерполяционные методы поиска максимума корреляционной функции (1).

Другим путем повышения эффективности измерения координат является измерение не максимума корреляционной функции (1), а координаты центра сегментированного изображения и пр. [1, 9, 10]. Для наиболее эффективного решения, например, в [1] размер объекта выбирают не меньше 20 пикселей.

Заключение

Для повышения точности измерения координат наблюдаемого объекта обычно используют замкнутые контуры управления ОЭС (КУ ОЭС). Однако в таких КУ ОЭС могут возникать АК с большой амплитудой, сопоставимой с амплитудой допустимой ошибки КУ ОЭС, и с частотой, близкой к частоте среза КУ ОЭС. Выявлено, что такие АК могут возникать из-за дефектов большинства блоков КУ ОЭС. Но даже в случае отсутствия дефектов большинства блоков КУ ОЭС, в КУ ОЭС существуют АК с параметрами, соответствующими дефектам в блоках КУ ОЭС. Показано, что хотя с точки зрения традиционного подхода квантование по времени и уровню не должны вносить значительных ошибок, в КУ возникают АК с большой амплитудой. Разработаны рекомендации, применение которых позволяет исключить АК с большой амплитудой при одновременном уменьшении других составляющих ошибки КУ ОЭС.

Литература

1. Оптико-электронные приборы разработки НПО КАРАТ // URL: www.npo-karat.ru/catalog/ — от 31.03.2015.
2. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. М.: Логос, 1999. 480 с.

3. Алпатов Б. А. Системы автоматического обнаружения и сопровождения. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
4. Будаи Б. Т. Определение коэффициентов теле-, тепловизионного приемников как элементов систем слежения // Вестник радиоэлектроники. 1993. № 2. С. 28–32.
5. Смирнова В. И., Разинцев В. И. Проектирование и расчет автоматизированных приводов. М.: Машиностроение, 1990. 368 с.
6. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1966. 998 с.
7. Денисов Р. Н. Анализ периодических режимов в импульсных системах с квантованием сигнала по уровню методами Z-преобразования // Автоматика и телемеханика. 1970. С. 88–96.
8. Будаи Б. Т. Новый метод учета высших гармоник для анализа автоколебаний в автоматических системах управления // Деп. в ВИМИ. 1993. № Д08563.
9. Ворновицкий И. Э., Лабунец В. Г., Мальцев А. П. Телевизионная система слежения за целями с плазменным факелом // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. № 10. С. 69–80.
10. Бакут П. А., Колмогоров Г. С. Сегментация изображений: методы выделения границ изображений // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. № 10. С. 25–48.

А. И. Вахитов, Г. Б. Смирнов, А. А. Фокин

ВЛИЯНИЕ УЧЕТА ДИФФУЗИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РОСТА КАТОДНОГО ОСАДКА В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ КОАКСИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ

В работе представлено влияние учета диффузионной поляризации и формы анода на результаты имитационного моделирования процесса роста катодного осадка в электролизере коаксиальной симметрии.

Ключевые слова: моделирование, твердый катод, поляризация, оптимизация формы катода.

This article represents diffusion polarization and anode form influence on the results of cathode sediment growth process imitation modeling in coaxial symmetry electrolyzer.

Keywords: modeling, solid cathode polarization, shape optimization of the cathode.

В ранее разработанном алгоритме моделирования роста катодного осадка в электролизере коаксиальной симметрии не было учтено возможное влияние диффузионной поляризации на процесс осаждения металла [1].

В настоящей работе проведено исследование влияния диффузионной поляризации на модельный процесс роста катодного осадка. Для расчета поляризации были использованы усредненные параметры коэффициента диффузии $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ и толщины диффузионного слоя $\delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$. Эти параметры дали возможность рассчитать некую гипотетическую поляризационную кривую, которая позволила принципиально оценить степень влияния поляризации на результаты моделирования. Критерием оценки влияния поляризации является показатель числительной производительности.

Расчеты были произведены для двух вариантов катодных матриц, представленных на рис. 1. Первый вариант матрицы имеет донную часть, что соответствует монолитной конструкции катода. Во втором варианте матрица представляет собой полую тонкостенную конструкцию без дна. На рис. 1 слева расположена ось симметрии, а справа и на дне находится анод.

В результате моделирования была получена зависимость расчетной производительности от напряжения при учете поляризации и без учета поляризации (рис. 2). Интервал заданного напряжения обеспечивал корректные величины поляризации во всех узлах на поверхности катода и составлял 0,025...0,2 В. Из графика видно, что производительность при учете поляризации меньше чем без ее учета. В среднем расхождение $\Delta p = 48,3 \text{ г/ч}$ (10 %).

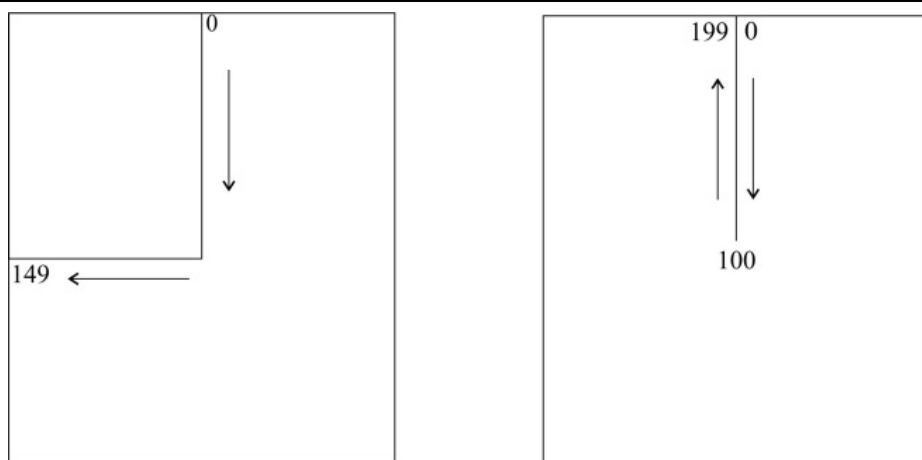


Рис. 1. Схема электролизёра коаксиальной симметрии (сечение) с различными типами катода

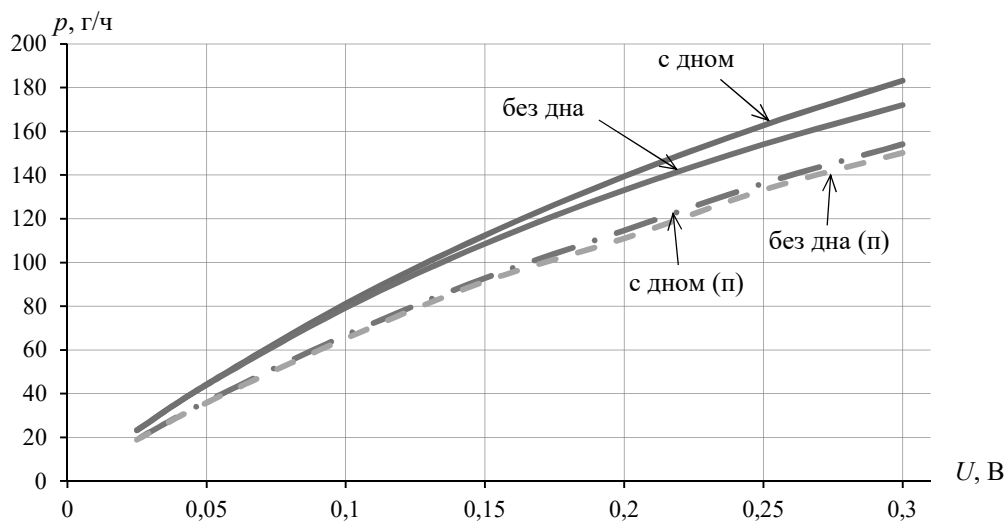


Рис. 2. Зависимость расчетной производительности процесса от заданного напряжения для различных типов катодной матрицы: без учета поляризации (—) и с учетом поляризации (---)

Причиной влияния поляризации на производительность процесса является различие в распределении плотности тока по поверхности катода. На рис. 3 и рис. 4 показано распределение тока по поверхности катода с дном и без дна соответственно для напряжений на ванне 0,025 и 0,2 В. Сплошной линией обозначены зависимости без учета поляризации, а прерывистой — с учетом поляризации. Расхождения составляют от 10 до 30 %, что обусловлено непропорциональным влиянием плотности тока на поляризацию. Наибольшее отклонение происходит в точке концентрации тока, которая расположена на угле катодной матрицы (узел 100).

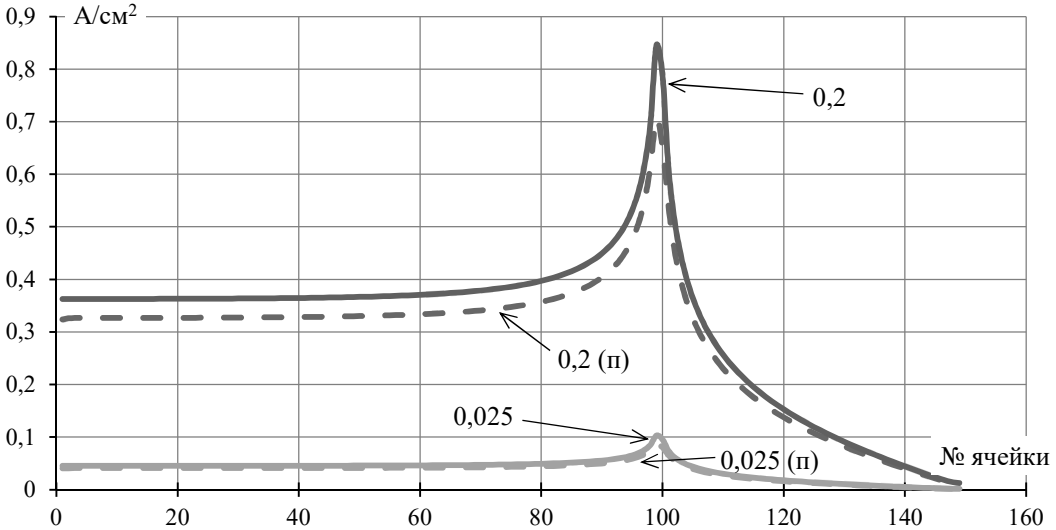


Рис. 3. Распределение плотности тока на развертке поверхности катода с дном при напряжениях на ванне 0,025 и 0,2 В с учетом (–) и без учета (– –) поляризации

Форма анода существенно влияет на рост катодного осадка. Поэтому при нахождении оптимальной формы катода, следует учитывать, какой формы будет анод.

В данном случае мы рассмотрели три формы растворимого анода в электролизере коаксиальной симметрии: анод на дне ванны, анод находится только по краям ванны, сочетание первого и второго случая.

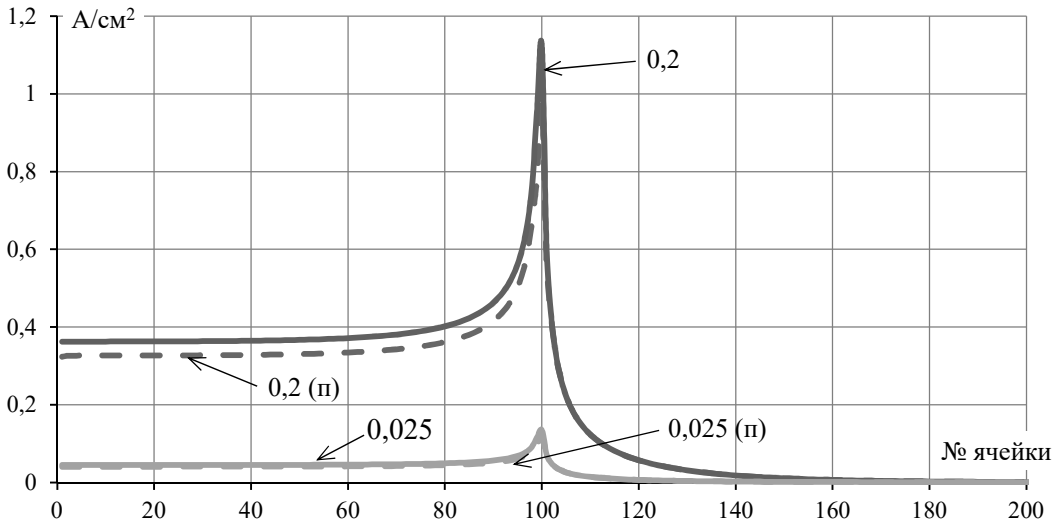


Рис. 4. Распределение плотности тока на развертке поверхности катода без дна при напряжениях на ванне 0,025 и 0,2 В с учетом (–) и без учета (– –) поляризации

Для изучения влияния формы анода было проведено имитационное моделирование, целью которого был поиск оптимальной формы катода при разных формах анода. При проведении эксперимента использовался тонкостенный катод без дна.

Итоги проведения моделирования приведены в табл. 1, где h , $d1$, $d2$ — это высота катода, верхний и нижний диаметры катода соответственно, p — расчетная производительность аппарата.

Таблица 1

Результаты поиска оптимальных размеров катодной матрицы методом имитационного моделирования при различных формах анода

Тип анода	h , мм	$d1$, мм	$d2$, мм	p , г/ч
По краям	166	124	108	446,7731
На дне ванны	156	128	104	292,9069
Оба случая	166	124	104	433,3935

Из табл. 1 следует, что наибольшей производительностью обладает случай, когда анод находится только по краям ванны. Результаты эксперимента для второго случая, когда анод находится только на дне ванны, оказались самыми низкими из-за того, что при использовании тонкостенного катода без дна рост осадка преимущественно происходит внизу от катода и происходит преждевременное замыкание на анод, когда диаметр катода еще не достиг размера выгрузочного отверстия аппарата. А в первом и третьем случаях окончание процесса определяется размером выгрузочного отверстия. Оптимальные размеры катодной матрицы оказались различными для различных вариантов конструкции анода.

Еще одним фактором, который может оказать влияние на распределение тока по поверхности катода, является изменение толщины диффузионного слоя из-за различных углов натекания струи электролита на поверхность катода согласно теории В. Г. Левича [2]. Такого рода эффект проявляется наиболее сильно в районе углов катодной матрицы, где толщина диффузионного слоя заметно истончается. Для оценочной проверки влияния этого эффекта на результаты моделирования проделали вычислительный эксперимент, в котором в районе угла катода в обе стороны задали толщину диффузионного слоя $2 \cdot 10^{-3}$ см на расстоянии 3 мм, а по остальной части поверхности катода задали ее значение $5 \cdot 10^{-3}$ см.

При заданном напряжении 0,1 В влияние указанного фактора практически не проявляется, а для напряжения 0,3 В в районе угла катода заметно отклонение плотности тока в среднем на 5 %, что видимо связано с нелинейностью поляризационной кривой (рис. 5).

Заметное локальное изменение плотности тока из-за изменения толщины диффузионного слоя с одновременным влиянием на этот эффект значения заданного напряжения на электролизёре привело к необходимости изучения влияния различной толщины диффузионного слоя при различных заданных напряжениях

на ванне на производительность процесса электролиза. В табл. 2 приведены результаты моделирования по условиям поставленной задачи.

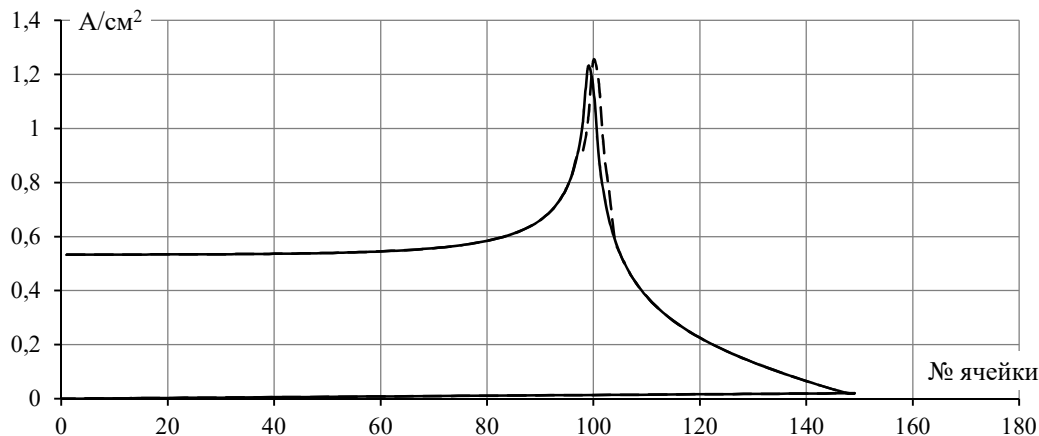


Рис. 5. Распределение плотности тока по поверхности катода при равномерной толщине диффузионного слоя 0,05 см (—) и его утончении в области угла катода до 0,02 см (--)

Таблица 2

Производительность процесса электролиза в зависимости от толщины диффузионного слоя и напряжения по результатам моделирования

Толщина, см	U, В						
	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,05	24,863 17	46,931 54	84,733 68	117,1997	142,2092	167,6155	188,5157
0,02	25,005 59	47,149 81	86,064 29	116,0402	142,2607	164,6668	183,6473

Результаты моделирования показали, что при изменении толщины диффузионного слоя более чем в два раза различия составляют от 0,5 до 2,5 %, причем отсутствует закономерность в зависимости от заданного напряжения.

В заключение можно отметить, что учет влияния диффузионной поляризации на результаты моделирования процесса электролиза целесообразен при плотностях тока, близких к предельным значениям для данного процесса, которые обеспечивают наибольшие допустимые напряжения на ванне.

Литература

1. Смирнов Г. Б., Фокин А. А., Маркина С. Э., Вахитов А. И. Оптимизация процесса роста катодного осадка в электролизере — рафинере коаксиальной симметрии методом имитационного моделирования // Расплавы. 2014. № 5. (сентябрь—октябрь). С. 78–83.
2. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М: Физматгиз, 1959. 699 с.

Р. Г. Владыкин, М. Ш. Гадельшин, Ю. Е. Долгирев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ЗАПРАВКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНТУРНОГО ТЕРМОСИФОНА

С использованием тепловизора исследовано влияние объема заправленного теплоносителя на работоспособность контурного термосифона при его различных ориентациях в пространстве.

Ключевые слова: *тепловизор, теплоноситель, контурный термосифон.*

The influence of the heat transfer fluid volume on loop thermosyphon efficiency has been studied by infrared camera. The study has been carried out by considering of different spatial positions.

Keywords: *infrared camera, heat transfer fluid, loop thermosyphon.*

Для охлаждения элементов силовой электроники успешно используются двухфазные контурные термосифоны [1]. Данные по их работоспособности при различных расположениях в пространстве представляют практический и научный интерес для разработчиков новых таких устройств.

В данной работе с использованием тепловизора исследовано влияние объема заправленного теплоносителя на работу контурного термосифона при его различных ориентациях в пространстве. На рис. 1 показаны уровни заправки контурного термосифона, представленные при горизонтальной ориентации испарителя. Испаритель термосифона выполнен в виде цилиндрического канала диаметром 9 мм и длиной 243 мм и предназначен в основном для работы в горизонтальном положении.

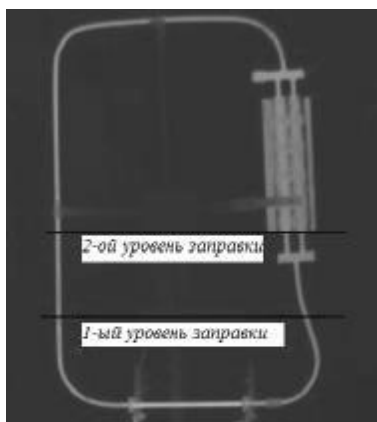


Рис. 1. Уровни заправки термосифона, представленные при горизонтальной ориентации испарителя

В реальных условиях могут иметь место значительные изменения положения испарителя от горизонтального. В исследовании подвод тепла осуществляется посредством организации электрического тока по корпусу термосифона в зоне испарения. Такой метод подвода тепла обеспечивает постоянство подводимой на единицу площади испарителя тепловой мощности, определяемой по измерениям тока и напряжения. В данной работе анализируется работа термосифона при достаточно большой плотности теплового потока $q = 1,5 \text{ Вт/см}^2$ по данным тепловизионных измерений распределения температуры по контуру термосифона.

На рис. 2 представлено типичное тепловизионное изображение работающего термосифона, в данном случае при наклоне $\varphi = +53^\circ$ (1-й уровень заправки). По данным таких тепловизионных съемок с помощью программы «ThermaCAM Researcher» рассчитывалось распределение температуры по контуру термосифона.



Рис. 2. Тепловизионное изображение работающего термосифона при наклоне $\varphi = +53$ (1-й уровень заправки)

На рис. 3 представлено распределение температуры по длине испарителя в виде величины τ , вычисляемой как разность между локальной температурой испарителя и средней температурой радиатора. Локальные температуры испарителя измерялись в равномерно разделенных участках по длине испарителя. Использование величины τ удобно тем, что по данным ее измерений вычисляется коэффициент теплопередачи как отношение плотности теплового потока q к средней по длине испарителя величине τ .

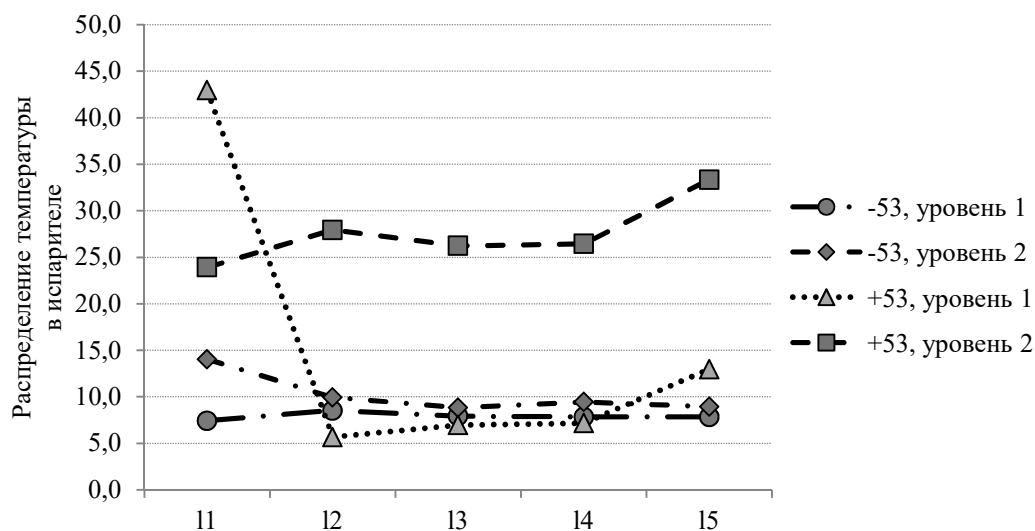


Рис. 3. Распределение температуры в равномерно разделенных участках по длине испарителя слева направо

Количество заправленного теплоносителя влияет на функционирование термосифона различным образом. Во-первых, может иметь место прекращение поступления теплоносителя к удаленным крайним участкам испарителя, что особенно проявляется при малой заправке в условиях значительного увеличения высоты этих участков (при значительных наклонах φ около 50°). Так из рис. 3 следует, что для 1-го уровня заправки при наклоне $\varphi = +53^\circ$ имеет место перегрев крайнего слева участка 11 испарителя (также на рис. 2 отчетливо видно, что на этом участке наблюдаются повышенные значения температур).

Во-вторых, теплопередающая способность термосифона существенным образом зависит от эффективного использования площади конденсации. Для анализа функционирования конденсатора термосифона рассмотрим распределение температуры по высоте конденсатора, которую охарактеризуем величиной θ , определяемой как разность между средней температурой испарителя и локальной температурой конденсатора. На рис. 4 показано распределение величины θ снизу вверх по высоте конденсатора по равномерно разделенным участкам.

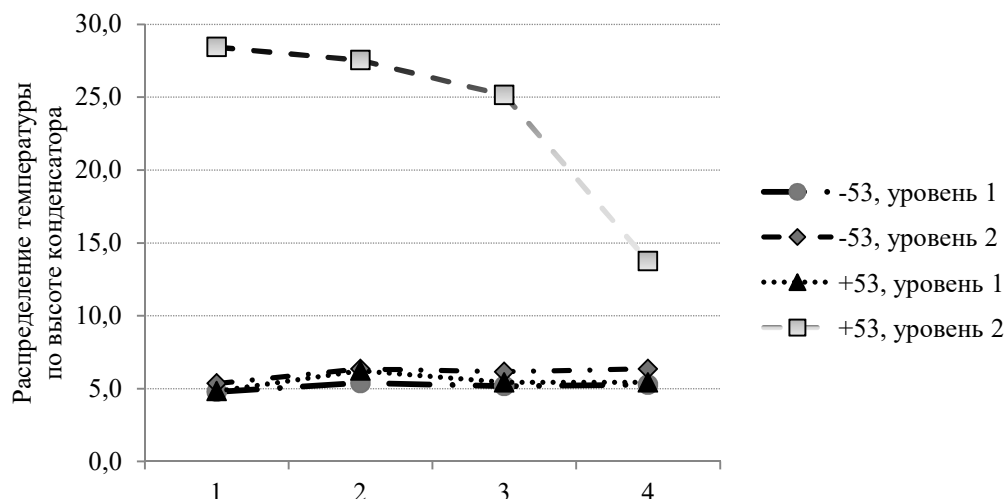


Рис. 4. Распределение температуры, характеризуемой величиной θ , по высоте конденсатора снизу вверх по равномерно разделенным участкам

Видно, что при 2-м уровне заправки и наклоне $\varphi = +53^\circ$ конденсатор плохо прогревается паром; фактически конденсация пара имеет место лишь на верхнем 4-м участке конденсатора. Т. е. конденсатор плохо функционирует, и обусловлено это избыточным количеством заправленного теплоносителя. Конденсатор оказывается на большей своей части залит теплоносителем, при этом площадь конденсации значительно уменьшается, что приводит к существенному уменьшению коэффициента теплопередачи от нагревателя к телу сброса тепла, в нашем случае — к радиатору.

Конструкция термосифона была разработана в предположении, что при горизонтальном расположении испарителя циркуляция теплоносителя по контуру термосифона будет осуществляться следующим образом: вниз от конденсатора к испарителю и далее от испарителя вверх к верхнему коллектору конденсатора, т. е. по часовой стрелке для наблюдателя, расположенного со стороны тепловизора. Было выявлено, что направление циркуляции теплоносителя не является однозначно заданной в соответствии с конструкцией контурного термосифона, а зависит от ориентации последнего в пространстве, главным образом от изменения положения испарителя от горизонтального и от расположения конденсатора над испарителем. Это подтверждается анализом температур транспортных участков термосифона (адиабатических зон контура термосифона) слева и справа от испарителя.

При положительных углах наклона вплоть до $\varphi = +53^\circ$ наблюдается функционирование термосифона, сопровождающееся циркуляцией теплоносителя по часовой стрелке. Последнее имеет место и при небольших отрицательных углах наклона до значения $\varphi = -20^\circ$. Но при достаточно больших отрицательных углах наклона

направление циркуляции теплоносителя изменяется. Это было обнаружено, в частности, для углов наклона φ , равных -35 и -53° . При циркуляции по часовой стрелке температура адиабатических зон слева на $15 \div 20^\circ$ превышала температуру адиабатических зон справа, а при циркуляции против часовой стрелки имело место обратное. Оценки коэффициента теплоотдачи при кипении в испарителе по значениям температур в адиабатической зоне дали достаточно близкие значения: $1500 \div 1600$ и $1950 \div 1980$ Вт/м²К соответственно при циркуляции по часовой стрелке и наоборот.

Были рассчитаны значения коэффициентов, характеризующих теплопередачу от нагревателя-испарителя к радиатору (приемнику тепла от конденсатора): 2300 (1-й уровень заправки) и 600 Вт/м²К (2-й уровень заправки) в случае циркуляции по часовой стрелке при $\varphi = +53^\circ$; и 1900 (1-й уровень заправки) и 1600 Вт/м²К (2-й уровень заправки) в случае циркуляции против часовой стрелки при $\varphi = -53^\circ$. Таким образом, почти в три раза заниженные значения коэффициента теплопередачи имели место в случае 2-го уровня заправки при $\varphi = +53^\circ$; этот факт отражается и на рис. 3.

Таким образом, анализ результатов тепловизионных измерений распределения температур по контуру термосифона показал, что может быть подобран определенный уровень заправки, соответствующий 1-му уровню заправки, при котором распределение температуры по длине испарителя или на отдельных, достаточно длинных его участках в условиях значительных наклонов в обе стороны до 50° характеризуется как постоянное, если на этих участках имеет место стабильное кипение. При этом уровне заправки наблюдаются также и высокие значения теплопередающей способности термосифона.

Литература

1. Пиоро А. С., Пиоро А. Л. Двухфазные термосифоны и их применение в промышленности. Киев: Наукова думка, 1988.

К. Д. Волков, Е. Н. Тарасов, А. В. Зинин, С. В. Андреев, А. С. Первушина

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗМОЛА НА МАГНИТНЫЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$

В данной работе были проведены исследования влияния высоких энергий размолла на магнитные гистерезисные свойства сплава $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$. По результатам проведенных исследований можно говорить о том, что размол в атриторе, благодаря высокой интенсивности, позволяет достичь высоких значений коэрцитивной силы за короткое время.

Ключевые слова: *высокоэнергетический размол, магнито-твердый материал, ферромагнитная фаза, марганец-алюминиевый магнит.*

In this research we have investigated the effect of high-energy milling on the magnetic hysteresis properties of the $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$ alloy. Studies have found that we can say that attritor milling, due to the high intensity achieves the high coercive force in a short time.

Keywords: *high-energy grinding, magnetic material, ferromagnetic phase, manganese-aluminum magnet.*

Магнитотвердые материалы на основе MnAl обнаружили в 50-х годах прошлого столетия [1] и исследовались вплоть до конца 1980-х годов. Но их потенциал был реализован не полностью из-за непростой технологии получения. С открытием редкоземельных постоянных магнитов, с высокими магнитными характеристиками, интерес к безредкоземельным магнитам пропал.

В настоящее время из-за резкого увеличения цен на редкоземельные металлы, началось активное исследование магнитных гистерезисных свойств на основе MnAl с легирующими элементами как материалов для постоянных магнитов (ПМ). Данные соединения не содержат дорогие и дефицитные металлы, отличаются высокой коррозионной стойкостью, малым удельным весом (около $5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$). Рассчитанное значение максимального энергетического произведения ПМ $(\text{ВН})_{\text{теор. max}} = 96 \text{ кДж/м}^3 \sim 12 \text{ МГсЭ}$ [2], превышает характеристики серийно выпускаемых ПМ из сплавов адьнико и бариевого феррита.

В системе MnAl магнитными свойствами обладает только τ -фаза при которой структура становится тетрагональной L1_0 . Для ее получения сплав гомогенизировался, а затем охлаждался на воздухе. Высококоэрцитивное состояние достигалось путем пластической деформации [3].

С возобновлением исследований в области безредкоземельных материалов, в частности систем MnAl , появилось множество вариаций технологии получения, но главным образом основной целью является получение высоких значений коэрцитивной силы и степени текстуры.

В связи с тем, что основным механизмом формирования высококоэрцитивного состояния в сплавах системы MnAl является деформация, в данной работе было исследовано влияние высокоэнергетического размола на гистерезисные свойства сплава $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$.

Образцы и методика эксперимента

Сплав состава (ат. %): 55 Mn, ост. Al был получен методом дуговой плавки в атмосфере гелия. Полученный литой образец был обработан при температуре 500°C в течение 30 мин. для формирования τ -фазы. Механический размол осуществлялся на высокоэнергетической шаровой мельнице типа «аттритор» в течение получаса с интервалом 5 мин., размалываемый материал представлял из себя порошок фракции 500–200 мкм, массой 8 г. В качестве размольного материала использовались шарики-подшипники диаметром 3 мм, общей массой 500 гр. Размол проводился в этиловом спирте, скорость вращения вертикальной лопастной мешалки — 4000 об./мин.

Измерение магнитных свойств образцов проводились на вибромагнетометре, в магнитных полях до 900 кА/м (12 кЭ) при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

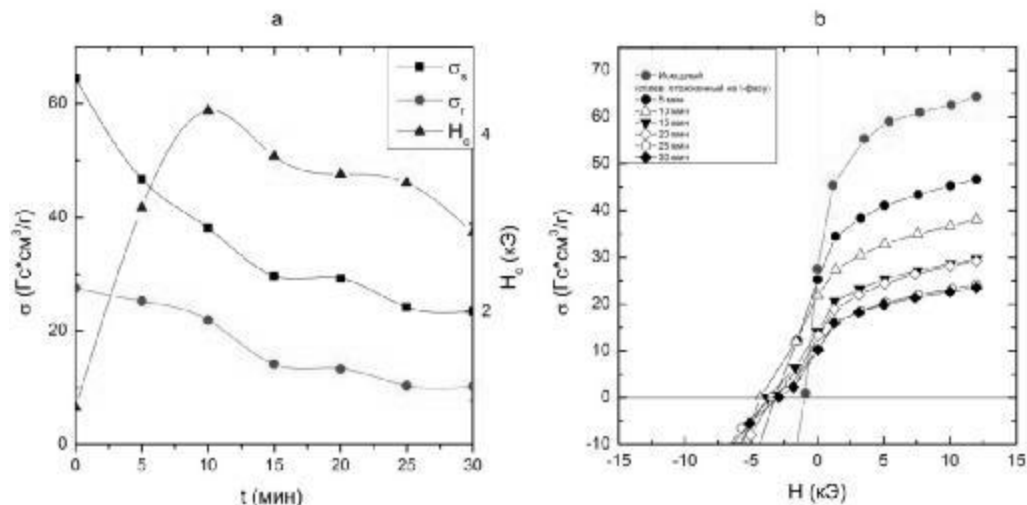


Рис. 1. а — зависимости удельной намагниченности насыщения σ_s , удельной остаточной намагниченности σ_r и коэрцитивной силы H_c от времени размола сплава $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$; б — кривые размагничивания образцов сплава $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$ подвергнутого механическому размолу

Полученные магнитные характеристики согласуются с результатами многих авторов по исследованию этих материалов: с уменьшением размера частиц происходит увеличение коэрцитивной силы H_c и уменьшение σ_s и σ_r (рис. 1а), а также возникновение перетяжек (рис. 1б). Падение σ , согласно [4], объясняют структурным

превращением, при котором часть атомов марганца занимает узлы типа $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2})$. При этом их магнитные моменты выстраиваются антипараллельно магнитным моментам атомов, находящихся в узлах $(0 0 0)$, что приводит к уменьшению суммарного магнитного момента. С увеличением концентрации антиферромагнитных дефектов, петля гистерезиса приобретает перетянутую форму. Коэрцитивная сила резко уменьшается при увеличении плотности дефектов и постепенно стремится к нулю. Такие петли гистерезиса были получены в работе [5] на поликристаллических образцах MnAl после сильной пластической деформации. В [6] отмечается, что такой перетянутый вид петли гистерезиса в сплаве MnAl наблюдается при наличии смеси — τ и ϵ' фаз при малой объемной доле τ -фазы.

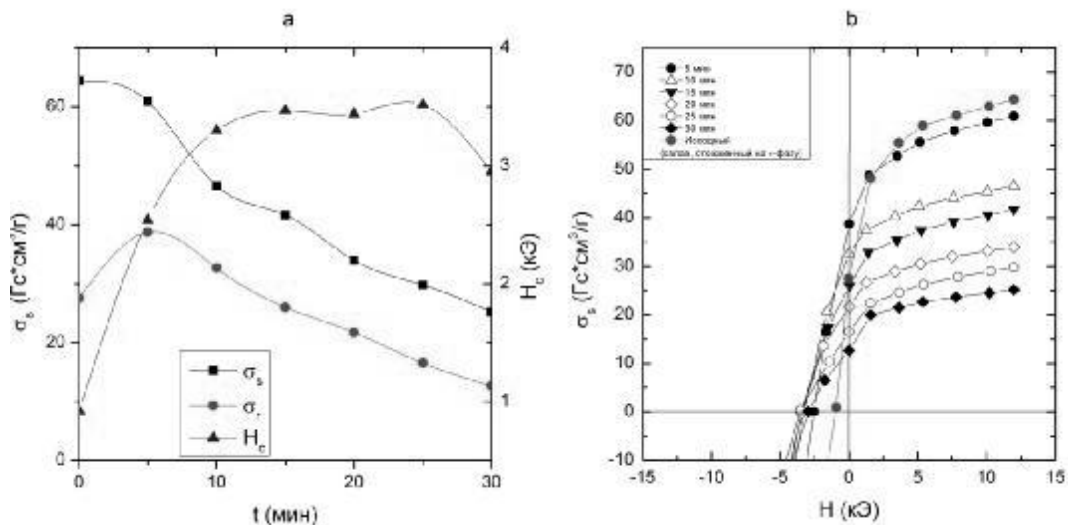


Рис. 2. а — зависимости удельной намагниченности насыщения σ_s , удельной остаточной намагниченности σ_r и коэрцитивной силы H_c от времени размола отожженного при 475 °С 30 мин. сплава Mn₅₅Al₄₅; б — кривые размагничивания образцов сплава Mn₅₅Al₄₅ подвергнутого механическому размолу и отожженного при 475 °С 30 мин.

По результатам измерения магнитных свойств отпущенных при температуре 475 °С в течение 30 мин образцов (рис. 2а) можно судить, что в процессе отжига происходит лишь частичное восстановления σ . Это может быть исправлено путем добавления легирующих элементов, например углерода или бора, которые стабилизируют ферромагнитную фазу. Изменение коэрцитивной силы обусловлено, как предполагается в работе [7], укрупнением зерна при термообработке, а как утверждается в [8] этот же фактор связан с исчезновением перетяжек на петлях (рис. 2б).

Выводы

В ходе исследования влияний высокоэнергетического размола на магнитные гистерезисные свойства сплава $\text{Mn}_{55}\text{Al}_{45}$ было определено, что высокие энергии при размоле позволяют получить высококоэрцитивное состояние за короткое время, даже по сравнению с планетарной мельницей согласно [9]. По результатам видно, что при размоле в атриторе, уже после 10 мин. наблюдается максимальное значение H_c , после чего начинается снижение. Термообработки не приводят к значительному улучшению свойств, что может быть связано с метастабильностью ферромагнитной фазы.

Литература

1. Копо Н. J. Phys. Soc. Japan, 1958. № 13. P. 1444.
2. Кекало И. Б., Самарин Б. А. Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами. М.: Металлургия, 1989. С. 467.
3. Шангуров А. В., Тейтель Е. И., Ермаков А. Е., Уймин М. А. Влияние деформированного состояния на магнитную структуру сплавов MnAl-C . // Физика металлов и металловедение. 1985. Т. 60, вып. 6. С. 1171–1176.
4. Brown P. B., Goedkoop I. D. Acta Met., 1963. № 16. P. 737.
5. Мицек А. И., Семянников С. С. Влияние антифазных границ на магнитные свойства ферромагнетиков // Физика твердого тела. 1969. № 11. С. 1103–1113.
6. Лимбман М. А., Равдель М. П., Родина Т. С. О влиянии активных напряжений на образование упорядоченных фаз и магнитные свойства сплавов MnAl-C . // Металлы. 1987. № 3. С. 148–157.
7. Уймин М. А., Ермаков А. Е., Тейтель Е. И. Влияние структурного состояния на процессы перемagnetизации сплава MnAl-C . // Физика металлов и металловедение. 1989. № 67. С. 915–923.
8. Тейтель Е. И., Уймин М. А., Ермаков А. Е. и др. Изменение структурного состояния и магнитных свойств при отжиге сильнодеформированного сплава MnAl-C // Физика металлов и металловедение. 1990. № 8. С. 83–89.
9. Jian H., Skokov K. P., Gutfleisch O. Microstructure and magnetic properties of Mn-Al-C alloy powders prepared by ball milling. Journal of Alloys and Compounds. 2015. № 622. P. 524–528.

М. В. Громыко, А. Л. Крымов, О. В. Игнатьев

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ β -РАДИОМЕТР: ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ВЫБОР ДЕТЕКТОРА

В статье представлены результаты сравнительного анализа современных коммерчески доступных типов β -радиометров. Затронуты проблемы выбора детектора исходя из особенностей применения β -радиометров при регистрации мощных потоков (до 10^6 част/с) β -частиц и частиц низких энергий (вплоть до 10 кэВ). Предложен новый подход в части построения сцинтилляционных детекторов для β -радиометров.

Ключевые слова: *счетчик бета-частиц, радиометр, газонаполненный счетчик, сцинтилляционный счетчик.*

This article presents results of comparative analysis of modern commercially available β -monitors. Choice problems and features of applications for registration low energy β -particles and high density of a stream of particles are touched. The new approach regarding construction scintillation β -monitors is offered.

Keywords: *beta-particles counter, contamination monitor, gas-filled counter, scintillation counter.*

Введение

В рамках решения задач радиационной гигиены и повышения уровня радиационной безопасности на объектах атомной промышленности, в частности, для определения поверхностного β -радиоактивного загрязнения оборудования или одежды, для выявления β -радиоактивных изотопов в воздушной среде помещений или в пробах растворов и в других подобных применениях широко используются радиометры β -излучения или β -радиометры.

Радиометр — специализированный прибор, предназначенный для измерения величины плотности потока ионизирующих частиц, состоящий из детектора излучения и электронного блока обработки сигналов. Наиболее распространенными детекторами β -частиц для радиометров являются газоразрядные (Гейгера-Мюллера) и сцинтилляционные (сцинтилляторы, сопряженные с фотосенсором) счетчики.

β -радиометры с газоразрядным детектором

Вследствие того, что в газонаполненном счетчике Гейгера-Мюллера даже одиночная пара ионов, созданная ионизирующей частицей, может вызвать лавинный разряд, считается, что эффективность регистрации заряженных частиц, попавших в объем счетчика, должна быть близкой к 100 %. Однако для большинства практических приложений, эффективность регистрации газоразрядного счетчика определяется вероятностью того, что падающая частица пройдет через входное окно счет-

чика без поглощения или обратного рассеяния [1]. Если говорить о низкоэнергетических β -частицах, то поглощение во входном окне является существенной проблемой. Для устранения этого явления входное окно счетчика приходится делать максимально тонким и, вследствие конструктивных особенностей, небольшим по площади. В конечном итоге это влияет на стоимость и долговечность всего радиометра, что при массовом производстве вынуждает использовать счетчики с толстыми входными окнами, недостаточными для прохождения через них β -частиц низких энергий. В табл. 1 приведены энергетические диапазоны регистрируемых β -частиц современных коммерчески доступных β -радиометров использующих газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера.

Таблица 1

*Энергетические диапазоны β -радиометров
с использованием газоразрядных счетчиков*

Устройство	Диапазон энергетической чувствительности, МэВ
Портативный дозиметр-радиометр МКС-05 «Терра» [2]	0,1...3,0
Бытовой дозиметр-радиометр МКС-05 «Терра-П» [2]	0,5...3,0
Радиометр загрязненности поверхностей альфа-и бета-активными веществами РЗБА-04-04М [2]	0,15...2,5
Установка радиометрическая контрольная РЗБ-05Д [2]	0,08...3,5
Блок детектирования БДПС-02 [3]	0,15...3,54
Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 [3]	0,15...3,5
RDS-80A Surface Contamination Meter [4]	$\geq 0,1$

Как видно из таблицы, минимальная энергетическая чувствительность находится на уровне 80...100 кэВ, что существенно ограничивает эффективность регистрации такими счетчиками, к примеру, изотопов ^{14}C (максимальная энергия β -частиц 156...157 кэВ [1, 5], средняя энергия β -частиц 49 кэВ [5]), ^{60}Co (максимальная энергия β -частиц 317...318 кэВ [5, 6], средняя энергия β -частиц 96 кэВ [5]) и ^{147}Pm (максимальная энергия β -частиц 224...225 кэВ [1, 5], средняя энергия β -частиц 62 кэВ [5]).

После разряда счетчик Гейгера-Мюллера нечувствителен к попадающим в его чувствительный объем частицам в течение некоторого времени восстановления, что приводит к искажению информации о плотности потока частиц, попавших в счетчик. Это время называется «мертвым» временем, оно обычно лежит в пределах 50...100 мкс [1, 6] и ограничивает быстродействие счетчика. Результирующая скорость счета r при «мертвом» времени счетчика τ определяется выражением [1]

$$r = n / (1 + n \cdot \tau), \quad (1)$$

где r — средняя скорость счета событий счетчиком; n — средняя скорость поступления событий в счетчик; τ — «мертвое» время счетчика.

Тогда максимальная скорость счета событий счетчиком определяется как предел (1) при $n \rightarrow \infty$: $r_{max} = 1 / \tau$.

При указанных выше значениях τ для газоразрядного счетчика его максимальная скорость счета не превышает 10...20 кГц.

Эффективность регистрации счетчика (η) определяется отношением числа зарегистрированных событий (N_c) к числу попавших в чувствительный объем счетчика частиц (N_t): $\eta = N_c / N_t = r / n = 1 / (1 + n \cdot \tau)$, где $N_t = n \cdot t$; $N_c = r \cdot t$, t — время измерения.

Таким образом, при увеличении средней скорости поступления событий ($n \rightarrow \infty$), эффективность регистрации счетчика падает ($\eta \rightarrow 0$).

Современные нормы радиационной безопасности предъявляют требования к эффективности регистрации β -частиц не менее 30 % при возможной средней скорости поступления событий $5 \cdot 10^5$ част/с. При заданной скорости поступления событий эффективность регистрации газоразрядного счетчика составит не более 4 %, что в значительной степени не удовлетворяет приведенным выше требованиям по эффективности.

Из других недостатков β -радиометров с газоразрядными детекторами следует отметить:

- наличие источника высоковольтного напряжения, что влияет на эксплуатационные характеристики и повышает класс опасности для персонала;
- ограниченность форм и размеров детекторов (особенно размеров активной области при использовании тонких входных окон) для целей построения β -радиометров большой чувствительной площади.

Однако если к β -радиометру не предъявляются серьезные требования по минимальному порогу энергетической чувствительности, эффективности и быстродействию, большой активной площади и долговечности, то сравнительная простота и дешевизна делает газоразрядные счетчики предпочтительными при построении таких устройств.

β -радиометры с сцинтилляционным детектором

Из сцинтилляционных материалов наиболее перспективными и предпочтительными для использования в детекторах радиометров β -излучений являются органические благодаря высокой эффективности регистрации заряженных частиц, высокому быстродействию (время высвечивания пластиковых сцинтилляторов ВС-404, ВС-408 1,8 и 2,1 нс соответственно [7]), возможности изготовления разных размеров и конфигураций, высокой надежности и относительно невысокой стоимости [8].

Для контроля β -радиоактивного загрязнения поверхностей достаточно большой площади (от 200×200 мм² и более) в присутствии γ -фона сцинтилляторы выполняют в виде тонкой, до 1 мм, пластины [9] необходимой площади. Однако при такой геометрии сцинтиллятора возникает проблема эффективного сбора света

на фотосенсор. Чаще всего в качестве последнего применяют электровакуумные фотоэлектронные умножители (ФЭУ), т. к. ФЭУ представляют собой наиболее развитую, непрерывно совершенствующуюся на протяжении длительного времени технологию фотосенсоров. Однако, несмотря на развитую технологию, ФЭУ имеют ряд принципиальных технических недостатков:

- ограниченный спектральный диапазон высокой квантовой эффективности;
- необходимость применения прецизионных источников высокого напряжения;
- большие массогабаритные характеристики;
- высокая стоимость (значительно увеличивающаяся с увеличением размера чувствительной области);
- механическая хрупкость;
- чувствительность к магнитным полям [10].

Для приемлемого сопряжения пластины сцинтиллятора с фотокатодом ФЭУ приходится изготавливать световод из оптически прозрачных материалов («рыбий хвост»), либо применять дорогостоящее зарубежное спектросмещающее оптоволокно, поскольку фотокатод имеет круглое сечение и размер значительно меньшей площади, чем сцинтиллятор. В любом из указанных случаев это трудоемко, громоздко, дорого, а главное не обеспечивает достаточно полный сбор фотонов света сцинтиллятора на фотокатод, что в итоге приводит к невысокой эффективности регистрации.

Скорость счета β -радиометра с органическим сцинтилляционным детектором на базе ФЭУ не имеет ограничений, присущих β -радиометру со счетчиком Гейгера-Мюллера, и в первую очередь, зависит от быстродействия электронного блока, достигая величин 10^6 имп/с.

Другая проблема использования сцинтилляционных детекторов для β -радиометрии заключается в том, что с одной стороны необходимо обеспечить защиту сборки сцинтиллятор-ФЭУ от внешней засветки, что требует применения оптически изолирующей защитной упаковки, а с другой — обеспечить прохождение низкоэнергетичных β -частиц через эту защитную упаковку. Чаще всего для этого применяют тонкие металлизированные пленки [9, 11], либо, если стоит вопрос получения максимальной чувствительности, размещают «открытый» детектор в светонепроницаемом корпусе с возможностью установки пробы вплотную к детектору, в ущерб эксплуатационным характеристикам. Методы решения данной проблемы, в совокупности с проблемой обеспечения максимально полного светосбора, определяют нижнюю границу энергетической чувствительности для сцинтилляционного детектора и эффективность регистрации частиц β -радиометром в целом. В табл. 2 приведены энергетические диапазоны регистрируемых β -частиц современных β -радиометров использующих сцинтилляционные детекторы.

Таблица 2

*Энергетические диапазоны β -радиометров
с использованием сцинтилляционных детекторов*

Устройство	Диапазон энергетической чувствительности, МэВ
Бета-спектрометр сцинтилляционный «МУЛЬТИРАД-БЕТА» [12]	0,1...4,0
Сцинтилляционные блоки детектирования бета-излучения БДС-Б, БДС-Б-150 [13]	0,2...3,0
Бета-спектрометр сцинтилляционный «Прогресс-бета» [2]	0,2...3,0
Радиометр альфа и бета излучений РКБА-01 «РАДЭК» [14]	0,065...4,0
Monitor DCM-300 series [15]	0,065...1,5

Как видно из таблицы, минимальная энергетическая чувствительность находится на уровне 65...100 кэВ, что является лучшим результатом, чем у газоразрядных счетчиков, однако этих значений все еще недостаточно для регистрации низкоэнергетичных β -частиц.

В табл. 3 приведены значения эффективностей регистрации коммерчески доступных β -радиометров для различных изотопов.

Таблица 3

Эффективность регистрации β -радиометров

Устройство	Эффективность по изотопу, %		
	^{14}C	^{90}Y - ^{90}Sr	^{60}Co
Scintillation probes SS600 / SS700 [16]	8	40	15
RadEye™ AB100 Alpha-Beta Contamination monitor [17]	–	49	23
Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 [2]	–	36	–
RDS-31 External Beta Probe [4]	3,8	22	14,5
Contamination monitor — dose rate meter CoMo-170 [18]	14	42	27
Contamination monitor LB 124 SCINT [11]	11	–	29

Сцинтилляционный β -радиометр с высокой эффективностью

Научно-исследовательской лабораторией электроники рентгеновских приборов (НИЛ ЭРП) Уральского федерального университета разработан сцинтилляционный β -радиометр с эффективностью регистрации β -частиц (EF_{β}) до 90 % по источнику ^{90}Y - ^{90}Sr (значение практически в два раза превышает лучшие значения по эффективности, приведенные в табл. 3), пониженной эффективностью регистрации γ -квантов ($EF_{\gamma}/EF_{\beta} \approx 0,01$), скоростью счета на уровне не менее $5 \cdot 10^5$ част/с и активной площадью регистрации частиц 200×200 мм².

Радиометр выполнен в мультимодульной конструкции, которая позволяет конфигурировать устройство на кросс-плате, набирая необходимую площадь чувствительной поверхности.

Каждый модуль представляет собой законченное функциональное устройство преобразования аналогового сигнала с детектора β -частиц в счетный импульс и сопрягается с кросс-платой, которая выполняет функции сбора, передачи информации через интерфейс и формирования необходимых номиналов напряжений питания устройства. Модуль выполнен с использованием оригинальной оптической конструкции, благодаря чему достигается максимальный сбор света на фотосенсор. В качестве последнего использован кремниевый фотоумножитель [19–21], что позволило получить механически прочное малогабаритное устройство, обладающее преимуществами сцинтилляционной сборки на базе ФЭУ и лишенное ее недостатков, указанных выше. Исключением является наличие у кремниевого фотоумножителя однополярного лавинного шума, который ограничивает нижний предел регистрируемых энергий β -частиц на уровне примерно 5 кэВ. Подробнее о кремниевых фотоумножителях и их выборе представлено в [10, 22].

Модульность конструкции имеет дополнительный потенциал использования устройства для определения пространственного расположения источника загрязнения, что обеспечит дополнительную степень надежности в рамках контроля радиационной безопасности на АЭС. На настоящий момент этот потенциал реализован в поколении координатных β -радиометров — новом классе приборов.

В конце 2014 года была отправлена первая партия β -радиометров на АЭС, к середине 2015 года планируется запуск этой партии в опытную промышленную эксплуатацию.



Внешний вид высокоэффективного сцинтилляционного β -радиометра

Литература

1. Knoll G. F. Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, Inc. Third Edition. 800 p.
2. <http://www.doza.ru/>.
3. <http://www.atomtex.ru/>.
4. <http://www.mirion.com/>.
5. <http://www.nucleide.org/>.
6. Ahmed S. N. Physics and Engineering of Radiation Detection. Elsevier. First Edition, 2007. 764 p.

7. Электронный ресурс <http://www.crystals.saint-gobain.com/>.
8. Акимов Ю. К. Фотонные методы регистрации излучений. Дубна: ОИЯИ, 2013. 323 с.
9. Seo B. K., Kim G. H., Park C. H., Jung Y. H., Jung C. H., Lee K. W., Han M. J. Development of the Dual Scintillator Sheet and Phoswitch Detector for Simultaneous Alpha- and Beta-rays Measurement. WM'07 Conference, February 25 — March 1, 2007, Tucson, AZ.
10. Громыко М. В., Игнатъев О. В. Кремниевые фотоумножители: выбор и применение в - спектрометрии // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УрФУ, 2014. Вып. 33. С. 5–15.
11. <http://www.berthold.com/>.
12. <http://www.amplituda.ru/>.
13. <http://aspect.dubna.ru/>.
14. <http://www.radek.ru/>.
15. <http://www.vf.eu/>.
16. <http://www.southernscientific.co.uk/>.
17. <http://www.thermoscientific.com/>.
18. <http://www.euromechanics-saveray.com/>.
19. <http://sensl.com/>.
20. Электронный ресурс <http://www.hamamatsu.com/>.
21. Электронный ресурс <http://www.ketek.net/>.
22. Громыко М. В., Игнатъев О. В., Крымов А. Л. Первая международная молодежная научная конференция, посвященная 65-летию основания Физико-технологического института: сб. тез. Вып. 1. Екатеринбург: УрФУ, 2014. С. 31.

Д. Н. Давыдов, А. П. Оконечников

РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ В СУЛЬФИДЕ ЦИНКА

Сульфид цинка имеет значительный потенциал как перспективный материал силовой оптики, но наличие дефектов и примесей оказывает значительное влияние на свойства реальных образцов. Использование ионизирующих излучений для контролируемого создания дефектов позволяет изучать природу дефектов и их влияние на свойства материалов. Рассматриваются проблемы исследования их влияния и трудности его однозначной интерпретации. Поднимается вопрос влияния примесей и дефектов в облучаемых образцах на образование радиационных дефектов. Важным выводом является то, что при облучении электронами предварительно деформированные образцы демонстрируют более высокую радиационную стойкость при малых флюенсах до 10^{17} см^{-2} , при больших флюенсах более радиационно-стойкими оказывались исходные образцы с меньшей исходной плотностью дефектов.

Ключевые слова: *сульфид цинка, дефект, примесь, дислокация, спектр.*

Zinc sulfide shows the great potential as the perspective material in the power quantum optic, but the problem is the influence of defects and admixtures on the different properties of the materials. The usage of ionizing radiation for the controlled creation of defects allows us to study the nature of the defects and their influence on the properties of materials. The problems are of the study of their impact and the difficulties of their correct interpretation. The actual question is the issue of the effect of impurities and defects in irradiated samples on the formation of radiation-induced defects. An important conclusion is that under electron irradiation pre-deformed samples show a higher radiation resistance at low fluences up to 10^{17} cm^{-2} , as at high fluences more radiation-resistant proved initial samples with lower initial density of defects.

Keywords: *zinc sulfide, defect, admixture, dislocation, spectrum.*

Сульфид цинка, относящийся к группе соединений A^2B^6 , известен как сцинтиллятор с высоким световым выходом. Он используется для регистрации тяжелых заряженных частиц. Помимо этого, высокая эффективность излучательной рекомбинации электронов и дырок данного материала открывает возможности для использования его в качестве активного элемента полупроводникового лазера с электронной накачкой, кроме того, ZnS является перспективным материалом силовой квантовой оптики.

Важнейшими в радиационной физике широкозонных полупроводников, к которым относится сульфид цинка, являются механизмы образования дефектов решетки, стабильность свойств облученных образцов, влияние исходной структуры и примесей, содержащихся в образце, на радиационное дефектообразование.

Изучение свойств сульфида цинка в значительной степени затрудняется сложностью получения материала с малым количеством собственных дефектов,

сильным влиянием дефектов и примесей на оптические, люминесцентные и фотоэлектрические свойства кристаллов. Исследования по изучению свойств полупроводниковых материалов A^2B^6 , связанных с наличием упругих и электрических полей дислокаций, показали, многие свойства таких кристаллов зависят от типа и плотности дислокаций, их взаимодействия с другими дефектами [1].

Использование ионизирующих излучений для контролируемого создания дефектов позволяет изучать природу дефектов и их влияние на свойства материалов. Важным является то обстоятельство, что соединения A^2B^6 характеризуются большим разнообразием простых точечных дефектов решетки, к которым относятся вакансии в обеих подрешетках, междоузельные атомы, дефекты взаимного замещения атомов. Каждый из этих дефектов может занимать различные положения в решетке и существовать в нескольких зарядовых состояниях. При облучении образцов ZnS заряженными частицами, нейтронами и γ -квантами происходит образование дефектов решетки, которые вступают во взаимодействие как между собой, так и с содержащимися в исходном образце примесями. Результатом такого взаимодействия становится образованием сложных дефектов, затрудняющих интерпретацию свойств полученных после облучения образцов, которые, как правило, содержатся в реальных, даже нелегированных кристаллах в достаточно высоких концентрациях.

Для всех соединений A^2B^6 при облучении обнаружены резкие пороги скорости дефектообразования, зависящие от энергии электронов. Данный факт указывает, что основным механизмом, приводящим к смещению атомов, является упругое резерфордовское рассеяние электронов на атомных ядрах. Методом термостимулированной люминесценции были вычислены по полученным экспериментальным данным значения пороговой энергии смещения атомов: $9,7 \pm 0,2$ эВ для атомов цинка, $15,4 \pm 0,5$ эВ для атомов серы [2].

Необходимо отметить, что экспериментально произведено определение пороговых энергий смещения для всех соединений A^2B^6 . Несмотря на это, исследования, направленные на их уточнение проводятся до сих пор. Данные о зависимости пороговой энергии от таких факторов как анизотропия образования смещенных центров, температура облучения, уровень ионизации в процессе облучения, исходная дефектность облучаемых кристаллов облучаемых соединений, в полном объеме не получены.

Кроме того, при рассмотрении механизмов создания дефектов в соединениях A^2B^6 необходимо учитывать наличие преобразования различных локальных центров в кристаллах, обусловленное их перезарядкой под действием возбуждающих факторов [3]. Данные процессы известны как фотохимические реакции и в значительной мере контролируются диффузией собственных дефектов и ряда примесей в области комнатных температур.

Вопросы закономерности накопления и отжига радиационных дефектов в сульфиде цинка имеют значительный научный и практический интерес.

Так, при облучении электронами с энергией 15 МэВ в диапазоне флюенсов $10^{16} \dots 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ монокристаллов, содержащих дислокации, полученные экспериментальные данные продемонстрировали более высокую радиационную стойкость деформированных кристаллов при малых флюенсах (до 10^{17} см^{-2}), при больших флюенсах более радиационно-стойкими оказывались исходные образцы [4]. Плотность дислокаций составляла 10^6 см^{-2} для исходного кристалла и 10^{10} см^{-2} для деформированного.

Важную роль в образовании радиационных дефектов играют неконтролируемые и легирующие примеси в облучаемых образцах. В исходных образцах с меньшей плотностью дислокаций пары Френкеля преимущественно взаимодействуют с примесными атомами, образуя комплексные дефекты, при этом аннигиляция создаваемых пар замедляется.

В деформированных кристаллах примесь сосредоточена преимущественно на дислокациях, объем кристалла обеднен ей, и возникающие радиационные дефекты в основном аннигилируют. В то же время, по мере их накопления и увеличения концентрации в образце, возникают радиационно-стимулированные потоки к дислокациям, начинает проявляться в значительной мере пространственное разделение компонентов френкелевских пар за счет упругих и электрических полей дислокаций, приводящее к возрастанию скорости дефектообразования.

Экспериментально было установлено существенное влияние исходных дислокаций в кристалле сульфида цинка на кинетику накопления дефектов Френкеля при высокотемпературном облучении [5].

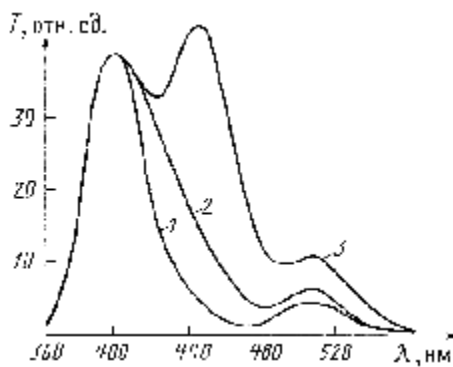


Рис. 1. Нормированный спектр фотолюминесценции монокристаллов при температуре 80 К

При облучении кристалла электронами с энергией 15 МэВ, происходит значительное изменение спектра фотолюминесценции образца ZnS. На рис. 1 представлены нормированные спектры фотолюминесценции, снятые при температуре 80 К, исходного (1), облученного при 40 °С (2) и 150 °С (3) образцов. Виден рост интенсивности фотолюминесценции в области 400...600 нм, обусловленный генерацией радиационно-индуцированных точечных дефектов — френкелевских пар.

После облучения появляется полоса с максимумом около 444 нм, которая наиболее интенсивна в спектре образцов, облученных при температуре 150 °С.

При исследовании влияния облучения γ -квантами на спектр фотолюминесценции самоактивированных кристаллов ZnS облучение не привело к появлению в спектрах излучения новых полос, изменение формы спектра было незначительным [6]. Установлено снижение интенсивности люминесценции при росте дозы облучения в пределах от 10^4 до 10^6 Р, что авторы связывают с возникновением радиационных дефектов, проявляющихся как центры безызлучательной рекомбинации. В то же время при дальнейшем росте дозы излучения наблюдается увеличение интенсивности люминесценции, что в свою очередь авторы связывают с частичным отжигом образовавшихся центров под действием излучения, а также возрастанием числа излучательных центров, ответственных за полосу спектра 466 нм.

При исследовании оптического поглощения в сульфиде цинка, обусловленного центрами F-типа (полосы 430 и 540 нм), в качестве объекта исследования были выбраны нелегированные монокристаллы и поликристаллы. Облучение образцов проводилось при температуре 300 К электронами с энергией 5 МэВ флюенсом $1,7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ [7].

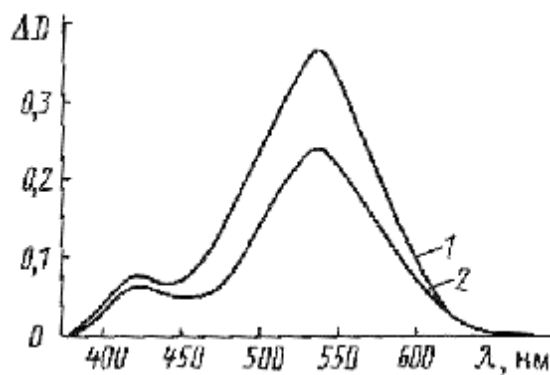


Рис. 2. Дополнительное оптическое поглощение монокристалла (1) и поликристалла (2) сульфида цинка после возбуждения УФ-светом

Как видно из спектров, представленных на рис. 2, коэффициенты оптического поглощения монокристаллов превышали коэффициенты поликристаллов в измеряемом диапазоне длин волн. Установлено, что концентрация центров F-типа в поликристаллах меньше, чем в монокристаллах в идентичных условиях облучения. Различие в концентрациях F^+ -центров обусловлено тем, что в монокристаллах концентрация созданных облучением вакансий и центров захвата выше, чем в поликристаллах. На основании полученных данных, был сделан вывод о том, что концентрация вводимых точечных дефектов в облученных электронами монокристаллах превышает концентрацию в поликристаллах.

Полученные различными авторами выводы о механизмах образования радиационных дефектов часто противоречивы. Единого понимания происходящих

при облучении сульфида цинка процессов, приводящих к образованию дефектов, их взаимодействия нет. Изменение свойств материала, обусловленное радиационными дефектами, имеет различные толкования. Это обусловлено, с одной стороны, сложностью объекта исследования, а с другой — указывает на необходимость использования комплексных методик изучения свойств облученных образцов.

Литература

1. Никитенко В. И., Осипьян Ю. А. Влияние дислокаций на электрические, оптические и магнитные свойства кристаллов // Проблемы современной кристаллографии. М.: Наука, 1975. С. 239–251.
2. Bryant F. J., Hamid S. A. Electron Irradiation and Trapping Center in Zinc Sulphide Single Crystals // Phys. Stat. Sol. 1970. V. 2, N 3. P. 597–605.
3. Шейнкман М. К., Корсунская Н. Е. Фотохимические реакции в полупроводниках типа A^2B^6 // Георгобиани А. Н., Шейнкмана М. К. Физика соединений A^2B^6 . М.: Наука, 1986. С. 109–145.
4. Оконечников А. П., Кассандров И. Н. Закономерности накопления и отжига радиационных дефектов в облученном электронами сульфиде цинка, содержащем дислокации // Модификации свойств материалов пучками заряженных частиц — Св. Т. 2 С. 135–139.
5. Оконечников А. П., Кассандров И. Н., Гаврилов Ф. Ф., Полетаев А. В. Журнал прикладной спектроскопии. 1987. Т. 47.. С. 54–58.
6. Абасова А. З., Лепнева Л. С., Туницкая В. Ф. ЖПС. Т. 39. 1983. С. 856–857.
7. Оконечников А. П., Лифенко В. М., Кассандров И. Н., Гаврилов Ф. Ф. Журнал прикладной спектроскопии. 1994. Т. 60. С. 349–352.

Д. М. Дерябина, А. А. Баранова

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ РОСТА РЕДИСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛУЧЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для изучения интенсивности роста редиса в зависимости от дозы ионизирующего излучения семена облучались различными типами ионизирующего излучения: гамма-излучение, ускоренные электроны, нейтроны промежуточных энергий. В результате эксперимента семена получили дозу ионизирующего излучения до 2 кГр. Полученные результаты согласуются с литературными данными, также доказана возможность использования линейного ускорителя электронов для предпосевного облучения семян.

Ключевые слова: *редис, гамма-излучение, бета-излучение, ускоренные электроны, нейтроны, рост, положительный эффект.*

In order to study the intensity of radish growth in a dose dependent ionizing radiation irradiated seeds were different types of ionizing radiation. For pre-irradiation of seeds, the following types of ionizing radiation: gamma rays, accelerated electrons, neutrons of intermediate energies. The experiment was conducted under the influence of ionizing radiation dose to 2 kGy. The experimental results are consistent with literature data.

Keywords: *radishes, gamma radiation, beta radiation, electron acceleration, growth, benefits.*

Основная Основная идея радиационного гормезиса — диаметрально противоположный ответ организма на большие и малые дозы облучения — была, в частности, обоснована тем, что малые дозы сопоставимы с постоянно действующим ПРФ, к которому адаптирована биота и небольшое повышение которого стимулирует нормальные физиологические процессы [1]. Результаты многочисленных опытов, проведенных в разных странах, например СССР, Канаде, Азербайджане, Сирии, Индонезии и многих других, однозначно указывают, что предпосевное γ -облучение семян самых различных сельскохозяйственных культур при оптимальной для данного вида дозе облучения, при соблюдении рекомендуемых условий (влажности семян во время облучения, температуры и времени хранения после облучения, достаточности удобрений и т. д.) оказывает положительное влияние и на последующие фазы развития, увеличивая ветвление и количество генеративных органов, ускоряя начало цветения, увеличивая и улучшая качество урожая.

Предпосевное облучение семян с целью стимулирования всхожести (зерновые и зернобобовые, картофель, морковь, капуста и др.) в целях повышения урожая и улучшения качества продукции — испытанный на практике процесс.

По сравнению с имеющимися методами предпосевной обработки семян (прогрев токами высокой частоты, замачивание в растворах микроэлементов

или ростовых веществ, облучение ультрафиолетовым светом, лазерным излучением) метод облучения ионизирующим излучением имеет преимущества по интенсивности воздействия на объекты и по стабильности получаемых результатов. При этом он характеризуется точностью дозирования воздействия излучения и совместимостью с обычными агроприемами, применяемыми в сельском хозяйстве. Облученные семена ранее прорастают, в семенах ускоряются биохимические процессы. В них отмечено более быстрое и усиленное образование простых сахаров и аминокислот, ускорение их притока к зародышу, что оказывается существенным при стимуляции [2].

В урожай от стимулированных семян, как правило, увеличивается на 1–13 % содержание того компонента, к выработке которого данная культура была эволюционно направлена. Так, при облучении семян моркови в урожае увеличивается содержание каротина в среднем на 10 %, в отдельных сортах на 30–32 %; у сахарной свеклы — содержание сахара (на 3 %), у клубней картофеля — крахмала (1–2 %) [3]. Несмотря на то, что многие вопросы, связанные с радиационной стимуляцией семян растений, были решены в 60–80-е годы прошлого века, когда эта технология активно развивалась для получения устойчивых прибавок урожая и гарантированного улучшения качества продукции, необходимо проведение дополнительных исследований и производственных испытаний. Причины:

1. За время, прошедшее с 70-х годов прошлого столетия, практически полностью сменился набор районированных сортов и культур. Для каждой культуры и районированного сорта необходимо определить оптимальный диапазон доз, мощностей доз и времени между облучением и посевом. От соблюдения этих параметров зависит хозяйственный и экономический эффект предпосевного облучения.

2. В тепличных хозяйствах произошло не только практически полное изменение набора сортов (как правило, замена отечественных на импортные), но и модернизация технологических процессов выращивания культур. Это необходимо учитывать при отработке регламентов облучения для обеспечения эффективного встраивания радиационных технологий в существующий в тепличных хозяйствах технологический процесс.

3. Необходимо оценить экономическую эффективность применения предпосевного облучения семян в новых условиях ведения сельского хозяйства, сложившихся в ходе реформ 1990-х гг.

В целом практическое использование γ -облучения для стимуляции развития сельскохозяйственных культур, повышения урожая и его качества теоретически вполне обоснованное, требует продолжения исследований и проведения многолетних производственных испытаний (чтобы учесть влияние variability погодных условий на эффективность агротехнологии) для отработки технических регламентов предпосевного облучения видов и сортов районированных сельскохозяйственных культур в разных природно-климатических зонах Российской Федерации.

Материалы и методы

Работа выполнена на кафедре экспериментальной физики Физико-технологического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Для наблюдения эффектов взаимодействия ионизирующего излучения с семенами растения семейства капустных были использованы: радионуклидные источники Cs-137, Co-60, Am-241, Sr90-Y90, Pu-Be, линейный ускоритель электронов модели «УЭЛР-10-10С2». Объектами экспериментальных исследований служили опытные и контрольные образцы семян редиса «18 дней» (фирма «Аэлита»).

Облучение и посадка

Семена редиса одинакового сорта были расфасованы в бумажные пакетики по 45 штук в каждый. Для исследования взаимодействия гамма-излучения в работе использовались такие радионуклиды, как Co-60, Cs-137, Am-241. В качестве источника бета-излучения применялся радионуклид Sr90-Y90. Источником нейтронов промежуточной энергии служил радионуклид Pu-Be.

Согласно литературным данным для наблюдения положительного эффекта необходимо подобрать дозу в пределах 100 Грей. Пакетики с семенами размещались вблизи радионуклидов на 10 дней.

Для наблюдения эффектов, полученных вследствие облучения электронами, в работе использовался линейный ускоритель электронов модели «УЭЛР-10-10С2». Именно с помощью ускорителя электронов семенами была получена доза в пределах 2000 Грей. Предполагается, что эта доза должна пагубно сказаться на ростках редиса.

Также с помощью линейного ускорителя группа семян подверглась тормозному гамма-излучению.

Семена замачивали в одинаковых условиях. Посадка осуществлялась через 48 часов после замачивания. По мере всхожести и роста ростков редиса проводились замеры, также ростки фотографировались. Для каждого вида облучения имелись контрольные группы семян, которые росли в тех же условиях и в том же количестве.

Измерения

Через двое суток все семена проросли и были посажены в землю. Разумеется, в зависимости от дозы длины корешков были разные. Начиная с этого момента по мере роста проводились измерения. Замерялись средние ростки редиса. Так, замеры проводились примерно каждые 24 часа в течение 7 суток, пока ростки не стали увядать. Это связано с тем, что эксперимент проводился в зимний период времени и для получения урожая росткам необходимо больше солнца. Также не соблюдались условия достаточного количества земли на каждое растение. Но, несмотря на эти причины и то, что корнеплод не достиг своих реальных размеров, положительный эффект мы смогли наблюдать.

Результаты и выводы

На рис. 1 показана зависимость интенсивности роста ростков редиса от количества дней. Этот график построен по длинам ростков семян, которые были облучены гамма-излучением от источников Co-60, Cs-137, Am-241. Также приведены данные по контрольной группе. Видно, что все облученные семена проросли лучше, чем семена контрольной группы. Но интенсивнее всего происходил рост семян, которые были облучены кобальтом (Co-60). Связано это с энергетическим диапазоном источников гамма-излучения. Энергия кобальта 1,25 МэВ, это в два раза больше, чем энергия радионуклида цезия (Cs-137).

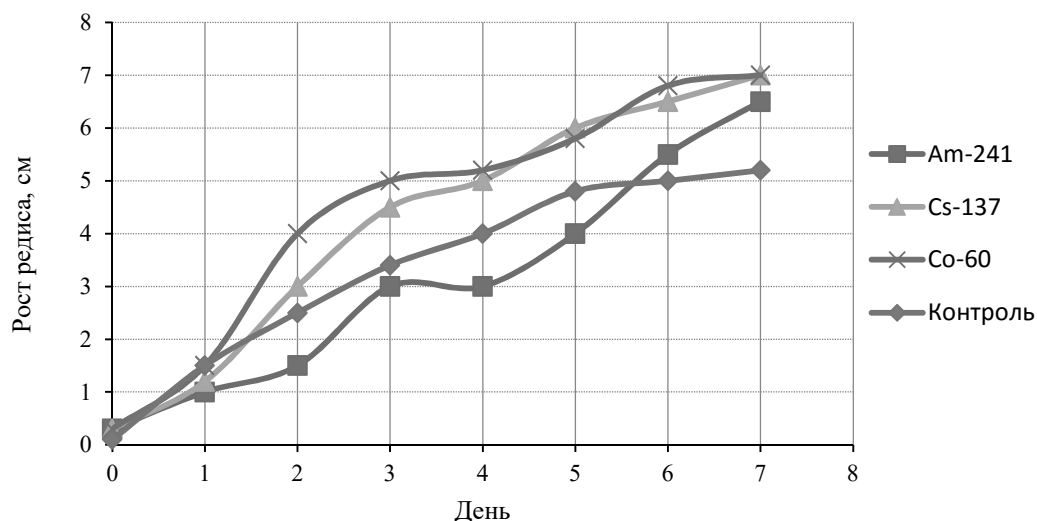


Рис. 1. Зависимость роста редиса от времени

На рис. 2 изображена зависимость интенсивности роста ростков, семена которых подверглись тормозному излучению. Согласно литературным данным, доза, необходимая для наблюдения положительного эффекта, составляет 100 Грей. С помощью линейного ускорителя электронов посредством тормозного излучения была получена доза 90 Грей. Наглядно видно увеличение интенсивности роста облученного редиса по сравнению с контрольными образцами. Также группа семян, которые подверглись облучению тормозным гамма-излучением, получила дозу 660 Грей. На графике представлено, что ростки редиса из этой группы семян росли намного хуже.

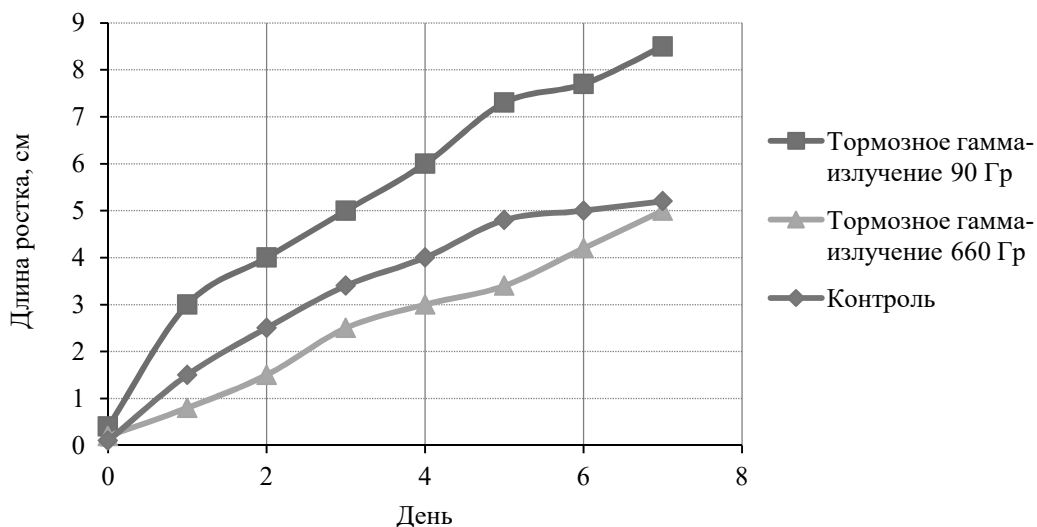


Рис. 2. Зависимость роста редиса от времени

Далее, рассмотрим интенсивность роста семян, которые облучались электронами. Две группы семян облучались потоком ускоренных электронов и одна группа находилась вблизи радионуклида Sr90-Y90 — источник бета-излучения. И одна группа — контрольная. График под номером 3, иллюстрирующий данные, касающиеся этих групп, приведен ниже. Видно, что доза, полученная на линейном ускорителе электронов модели «УЭЛР-10-10С2», сказалась на ростках не хорошо. Семена росли несколько хуже контроля. Но семена, находившиеся вблизи источника бета-излучения 10 дней, выросли немного лучше, хотя на начальном этапе развития ростков особого различия в этом нет.

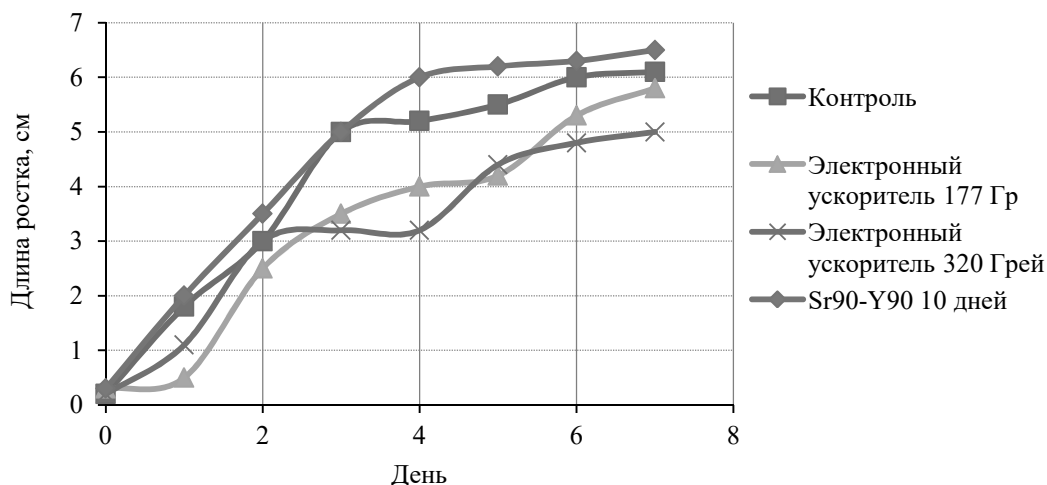


Рис. 3. Зависимость роста редиса от времени

Рис. 4 иллюстрирует исключительно негативное развитие ростков и уменьшение, относительно контроля, в росте семян. Дозы в 890 и 1900 Грей были получены на линейном ускорителе электронов. Наглядно видно заторможенное развитие ростков редиса. Расчетная доза, которую получили семена за 14 дней, составила 0,92 Грей.

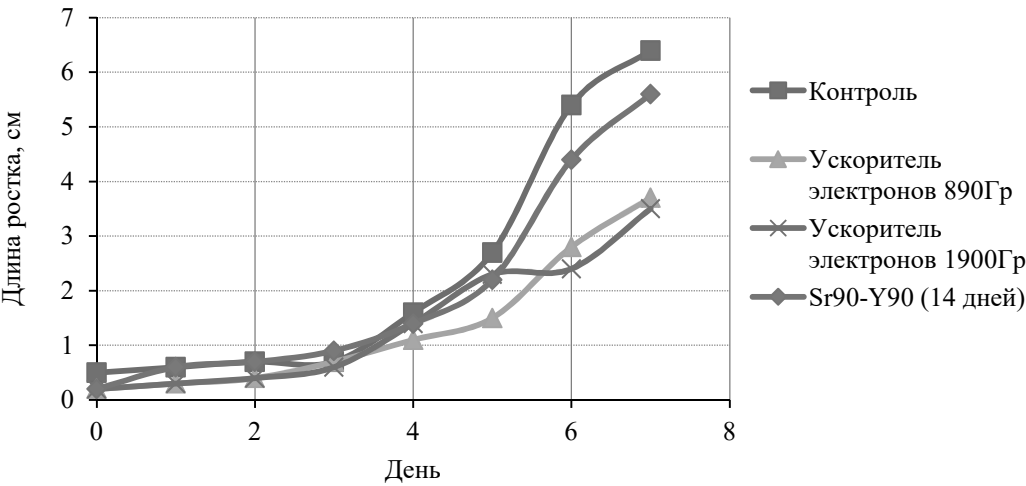


Рис. 4. Зависимость роста редиса от времени

Рис. 5 иллюстрирует зависимость роста ростков редиса, семена которых были облучены нейтронным источником. Семена, подвергшиеся облучению нейтронами промежуточных энергий, росли интенсивнее, чем семена контрольной группы.

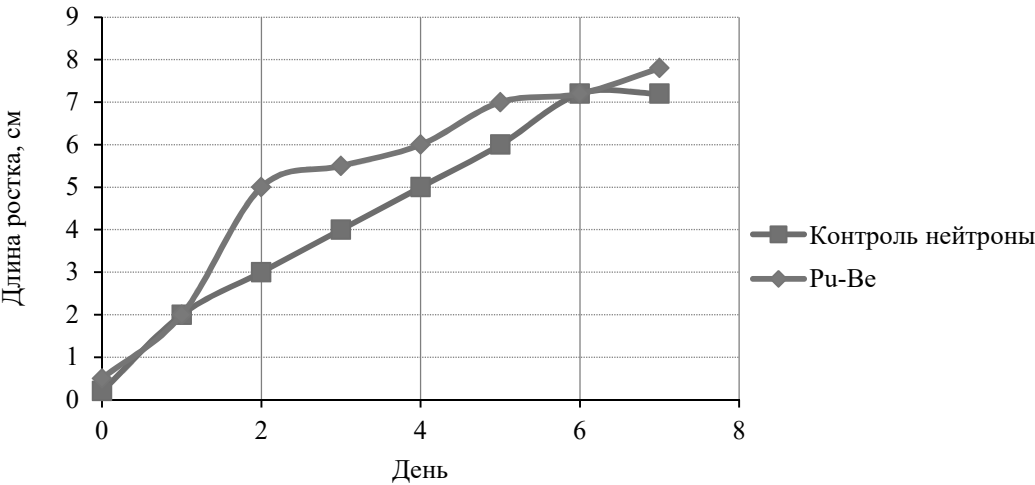


Рис. 5. Зависимость роста редиса от времени

Заключение

Подводя итог, мы делаем следующие выводы:

– В результате эксперимента была определена доза, при которой наблюдался положительный эффект. Эта доза была получена с помощью линейного ускорителя электронов модели «УЭЛР-10-10С2» вследствие тормозного гамма-излучения. Она равна 90 Грей, что подтверждается литературными данными.

– Небольшие дозы, полученные от радионуклидов оказывают положительный эффект в диапазоне энергий 1,25 МэВ, эта энергия соответствует радионуклиду Со-60, который в настоящее время используется как источник гамма-излучения в промышленной обработке семян.

– Также в ходе исследования было замечено, что большие дозы, а именно 177 Грей и выше, приводят к уменьшению всхожести семян и снижению роста ростков редиса.

– Доказана возможность использования линейного ускорителя электронов модели «УЭЛР-10-10С2» для предпосевного излучения семян.

В качестве дальнейшего исследования планируется рассмотреть влияние тех же дозовых нагрузок, но в импульсном режиме.

Литература

1. Кузин А. М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке. М.: Наука, 1995.
2. Научно-производственное отделение радиационных технологий Государственного научного центра «Институт биофизики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pseudology.org/Sterilization/NPO_RT.htm.
3. Белов А. А. Радиобиология / А. А. Белов, В. А. Киршин, Н. П. Лысенко и др. М.: Колос, 1999. 384 с.

А. М. Джембеков

РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ СТАБИЛЬНОГО КАТАЛИЗАТА НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В работе сформулирована задача управления блоком стабилизации катализата процесса каталитического риформинга на основе экспертной информации. Для повышения эффективности управления процессом стабилизации катализата риформинга разработана система регулирования температуры куба колонны на базе нечеткой логики. Произведен расчет нечеткого регулятора системы управления, произведена фаззификация значений выделенных лингвистических переменных, построены две системы регулирования температуры куба колонны (система с цифровым ПИД-регулятором и система с цифровым нечетким регулятором). Сравнительный анализ переходных процессов в данных системах показал наличие ряда преимуществ нечеткого регулятора.

Ключевые слова: *каталитический риформинг, стабилизационная колонна, нечеткий регулятор, лингвистическая переменная, система нечеткого вывода.*

In this paper we formulate the problem of stabilization control unit catalysate catalytic reforming process based on expert information. To enhance the management process of stabilization catalysate reforming temperature control system designed bottom of the column based on fuzzy logic. The calculation of fuzzy controller control system, made fuzzification values allocated linguistic variables, built two temperature control system bottom of the column (system with digital PID-controller and system with digital fuzzy controller). Comparative analysis of transient processes in these systems revealed several advantages of fuzzy controller.

Keywords: *catalytic reforming stabilizer column, fuzzy controllers, linguistic variables, fuzzy inference system.*

На сегодняшний день большинство производственных установок, как реальных объектов управления, функционирует в условиях неопределенности, как самого объекта, так и действующих на него неконтролируемых возмущающих воздействий. Примером может служить установка каталитического риформинга. Сложные математические модели данного процесса, в большинстве случаев, оказываются неэффективными при разработке оптимальных и адаптивных систем управления [1] ввиду нестационарности процесса [2]. Наличие опытного эксперта-оператора установки является одним из обязательных условий ее надежной работы. Приобретаемые в процессе работы оператором знания и опыт по настройке параметров оборудования могут служить основой для построения адаптивных интеллектуальных систем управления процессом [3]. При построении моделей каталитического риформинга важным вопросом является учет в модели качественных показателей (качества сырья, активности катализатора, качества топливного газа, состо-

нения трубчатых печей). Поэтому возникает необходимость в использовании метода моделирования, допускающего обработку качественной информации от экспертов [4]. Наиболее подходящим инструментарием, позволяющим строить модели управления на основе качественной информации об объекте, являются методы теории нечетких множеств и нечеткой логики [5].

Целью данной работы является повышение эффективности управления процессом каталитического риформинга за счет разработки интеллектуальной системы управления данным процессом. Объектом исследования является стабилизационная колонна установки каталитического риформинга. Стабильный катализат, получаемый на выходе стабилизационной колонны, является одним из последних продуктов, образуемых в общей цепи процесса каталитического риформинга. После процесса стабилизации продукт поступает на заключительные стадии приготовления бензина (парк полуфабрикатов, смешивание полуфабрикатов, товарный парк). Поэтому управление процессом стабилизации катализата является одной из наиболее важных задач на установке риформинга.

Необходима разработка нечеткой системы регулирования основных параметров стабилизационной колонны, которая будет учитывать опыт экспертов-наладчиков данной установки. Температура выходного потока (стабильного катализата) стабилизационной колонны является наиболее значимым показателем, который используют при анализе характеристик продукта каталитического риформинга. Поэтому остановимся на нечетком регулировании температуры куба колонны риформинга.

Представим систему управления температурой низа колонны стабилизации с цифровым нечетким регулятором (НР) в виде следующей структурной схемы (рис. 1) [6]:

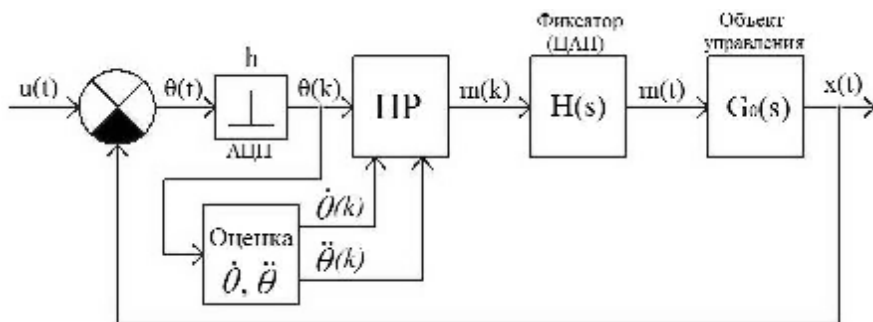


Рис. 1. Примерная структура системы управления с цифровым НР

В качестве управляющего воздействия $\theta(t)$ в нечеткой системе будет выступать ошибка регулирования температуры, измеряемой на выходе из трубчатой печи подогрева сырья колонны. Температура на выходе печи подогрева должна поддерживаться в заданных пределах: $220 \div 256^\circ\text{C}$. После выработки управляющего воздействия НР получаем значение ошибки регулирования температуры $m(t)$ печи

подогрева, которое будет подано на исследуемую, в системе Matlab Simulink, модель стабилизационной колонны. На выходе объекта управления мы получаем значение ошибки регулирования температуры $x(t)$ низа колонны. На регулирование температуры низа стабилизационной колонны также накладываются ограничения: $200 \div 250^\circ\text{C}$.

Была произведена фаззификация входных и выходной лингвистических переменных: ошибка системы θ , скорость изменения (первая производная) ошибки $\dot{\theta}$, ускорение (вторая производная) ошибки $\ddot{\theta}$, управляющее воздействие на объект m , в соответствии с рекомендациями, описанными в [7]. Здесь на основе сравнительного анализа переходных процессов была выбрана система нечеткого вывода Мамдани и получена нечеткая база правил.

Передаточная функция объекта управления (колонны стабилизации) будет следующая [8]:

$$G_K(s) = \frac{3 \cdot e^{-30s}}{72856.17 \cdot s^3 + 6092.43 \cdot s^2 + 133.82 \cdot s + 1}.$$

Составленные в интерактивной системе MATLAB структурные схемы систем регулирования температуры низа колонны установки риформинга с цифровыми ПИД-регулятором и нечетким регулятором приведены на рис. 2.

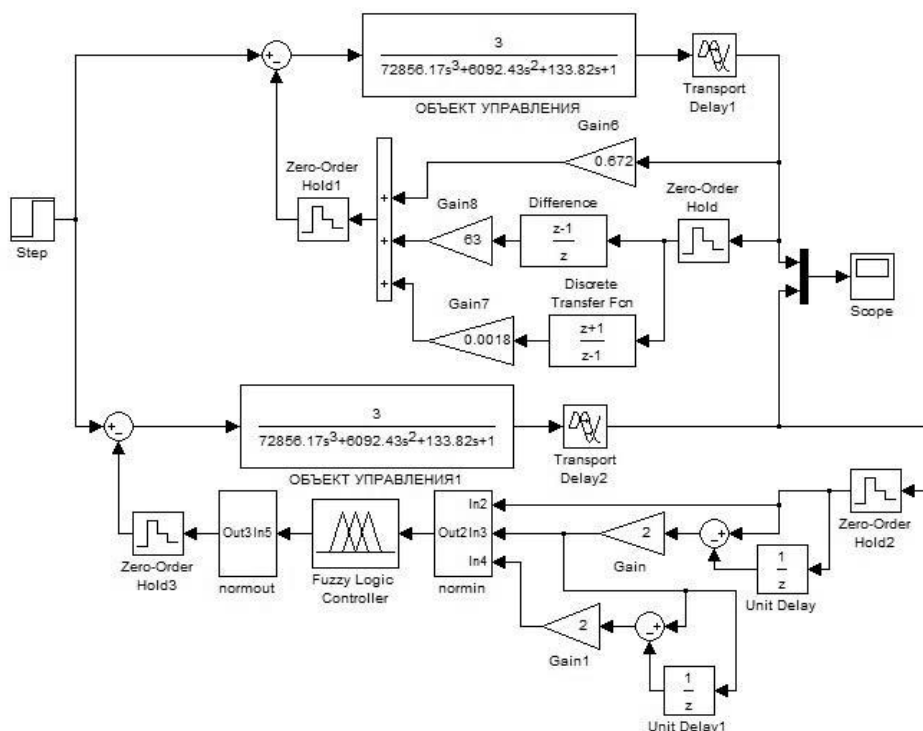


Рис. 2. Структурные схемы систем регулирования с цифровыми ПИД- и нечетким регуляторами

Передаточная функция цифрового ПИД-регулятора будет следующей:

$$W(z) = K + \frac{K_i h_0}{2} \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{h_0} \frac{z-1}{z}.$$

Настройка регуляторов произведена с целью получения минимальной динамической ошибки рассогласования. После настройки цифрового ПИД-регулятора при шаге дискретизации $h_0 = 0,001$ с получены следующие оптимальные коэффициенты передаточной функции: $K = 0,672$; $K_i = 0,0018$; $K_d = 63$.

Получены переходные процессы в системах управления с цифровыми ПИД-регулятором и нечетким регулятором (рис. 3). На основании данных процессов было произведено сравнение показателей качества регулирования в системах управления (табл.).

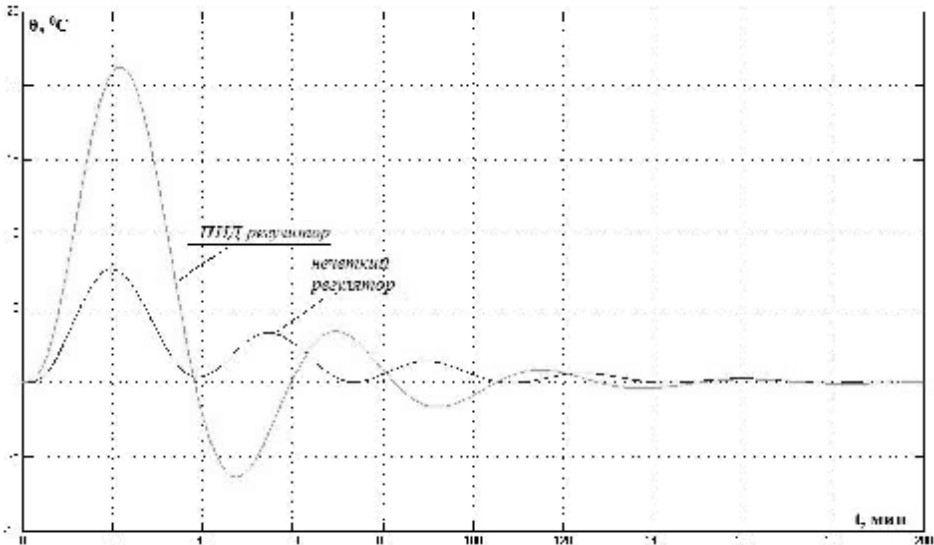


Рис. 3. Переходные процессы в системах с цифровыми ПИД- и нечетким регуляторами

Показатели качества процессов в системах управления

Показатель	Система с ПИД-регулятором	Система с нечетким регулятором
Время переходного процесса t_p , мин	200	180
Перерегулирование σ , °C	21,29	7,59
Время достижения первого максимума t_{MAX} , мин	21,875	19,89
Степень затухания ψ	$(21,29 - 3,33) / 21,29 = 0,8436$	$(7,59 - 3,32) / 7,59 = 0,5626$
Квадратичный интегральный критерий качества I_2	7418	975,5

Анализируя полученные переходные процессы можно заключить, что как ПИД-регулятор, так и нечеткий регулятор в системе регулирования температуры куба стабилизационной колонны риформинга обеспечивают устойчивое поддержание теплового режима колонны с достаточно высокими показателями качества. Но в системе с нечетким (работающим на базе нечеткой логики) регулятором величина перерегулирования в 3 раза меньше, чем в системе с ПИД-регулятором. Рассмотренный нечеткий регулятор придает всей системе автоматического регулирования способность поддерживать на заданном уровне, как температуру, так и динамику изменения ее во времени, т. е. регулировать качество процесса каталитического риформинга. Т. к. параметры стабилизационной колонны установки риформинга изменяются в очень широких диапазонах, то нечеткий регулятор может обеспечивать достаточное качество системы управления.

М. И. Ершов, Ю. А. Каграманов, Е. С. Лабинцев

ГАЗИФИКАЦИЯ БОРОДИНСКИХ УГЛЕЙ В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

На сегодняшний день, когда вопросы экологии и энергоэффективности выходят на первый план, технологии получения искусственного газа из твердых топлив для использования в энергетических установках, включая когенерационные, являются весьма актуальными. К наиболее перспективным относятся низкотемпературные технологии химико-термической переработки углей в псевдооживленном слое. Насколько нам известно, они уже применяются в установках большой энергетики, однако возможности их применения в малой энергетике являются малоизученными. Нами была проведена разработка конструкции, а также исследование работы двухзонного реактора пузырькового псевдооживленного слоя малой мощности для нужд локальной энергетики, например, в составе мини-ТЭЦ (тепло-электроцентрали) с газопоршневым приводом либо в гибридных ПГУ (парогазовых установках). Расчеты и экспериментальные данные показывают, что состав и теплота сгорания получаемого в реакторе синтез-газа позволяют использовать его в качестве низкокалорийного топлива в камерах сгорания вышеупомянутых энергетических установок, что требует дальнейшего изучения и развития технологии.

Ключевые слова: уголь, выход летучего вещества, воздух, тепло, продукты газификации, КПД, константа скорости, равновесие

Nowadays, as the energy efficiency and ecology issues prevail, gas generation from solid fuels technologies and their application in energy installations are essential. The low temperature technologies with thermo-chemical coal conversion in fluidized bed reactors are the most perspective. To the best of authors' knowledge, these practices are already implemented in some large-scale energy plants, yet their small-scale implementation capabilities are still underinvestigated. The low power two zone gas reactor with fluidized bed for small-scale applications such as gas reciprocating engines co-generation and combined-cycle plants was designed and analyzed by us. Calculations and experimental data show the output synth-gas with its composition and combustion heat values can be used as a low-cal fuel in combustion cameras of these units which requires more researches and development of this technology.

Keywords: coal, volatile content, air, heat, gasification products, chemical efficiency factor, velocity constant, equilibrium.

Многие современные технологии использования твердых топлив базируются на их термохимической переработке в искусственный газ, который затем может сжигаться в технологических и энергетических установках, включая когенерационные, или преобразуется в жидкое топливо [1]. Одним из направлений развития таких технологий является снижение температуры в активной зоне термохимического реактора, поскольку при этом уменьшается образование оксидов азота и серы,

шлакование поверхностей реактора [2], расширяются возможности использования низкосортных топлив [3], и снижается капиталоемкость оборудования.

Используются и продолжают исследоваться три основные низкотемпературные технологии: 1) низкотемпературная вихревая технология (НТВ), которая применяется для сжигания угольной пыли в энергетических котлах, как правило мощностью в сотни мегаватт, и позволяет снизить температуру в топке котла до 1100...1250 °С [4]; 2) низкотемпературная карбонизация углесодержащих топлив в потоке, успешно опробованная при подготовке угольной пыли перед вводом в топку парового котла мощностью 420 т/ч [5] и находящая применение в разрабатываемых схемах гибридных ПГУ [6]; 3) слоевые технологии газификации твердых топлив [7], включающие газификацию в плотном слое (по методу Лурги) [8], газификаторы с пузырьковым кипящим слоем (по методу Винклера) [9] и установки с форсированными режимами псевдоожижения (ЦКС — циркуляционный кипящий слой), имеющие большую производительность и используемые в основном в энергоблоках угольных ТЭС (тепловых электрических станций) [10].

Технологии псевдоожижения относятся к наиболее перспективным и непрерывно совершенствуются. Компанией «Foster Wheeler» разработаны схемы ПГУ, использующие карбонизатор твердого топлива под давлением с пузырьковым псевдоожиженным слоем — topping cycle [11] и с ЦКС под давлением — схема HIPPS (high integrity pressure protection system) [10]. В обоих случаях продуктами карбонизации (частичной газификации) при температурах 850...930 °С являются газ для газотурбинной установки (ГТУ) и полукокс для парового котла ЦКС. Низкий уровень температур позволяет обессмоливать получаемый газ и после циклонной пылеочистки подавать в камеру сгорания ГТУ. Японскими энергетическими центрами разработан цикл ПГУ с внутрицикловой паровой газификацией угля повышенной эффективности (advanced cycle A-IGCC (advanced integrated gasification combined cycle)) [12] с КПД нетто 53...57 %. В цикле пар после паровой турбины нагревается до 700 °С газами, выходящими из газовой турбины, и подается в газификатор с псевдоожиженным слоем, работающий в интервале температур 700...1000 °С. В США исследуется цикл ПГУ с «мягкой» частичной газификацией угля (mild gasification cycle — IMGCC) в реакторе с пузырьковым псевдоожиженным слоем [13]. Основным элементом цикла является разработанная система высокотемпературной газоочистки (при температурах больше 500 °С), позволяющая избегать потерь энергии синтез-газа при термическом разложении тяжелых летучих на легкие компоненты (CO , H_2 , CH_4).

В данной работе предложена конструкция и исследуется работа реактора пузырькового псевдоожиженного слоя малой мощности для нужд локальной энергетики, например в составе мини-ТЭЦ с газопоршневым приводом либо в гибридных ПГУ. В нашем случае требуется получение чистого газа, поскольку присутствие углеводородов способствует образованию высокотоксичных оксидов азота в процессе сжигания газа [14], а для удаления смоляных включений требуется создание

дорогостоящих очистных блоков [15]. В целях снижения капиталоёмкости оборудования и упрощения условий эксплуатации использован метод автотермичной воздушной газификации с комбинированной схемой движения дисперсных и газовых потоков.

Схема газогенератора

Принципиальная схема двухзонного газогенератора показана на рис. 1. В газогенераторе выделяется камера сгорания при помощи центральной трубы 2. В камеру сгорания подводится дробленый и отгрохоченный уголь.

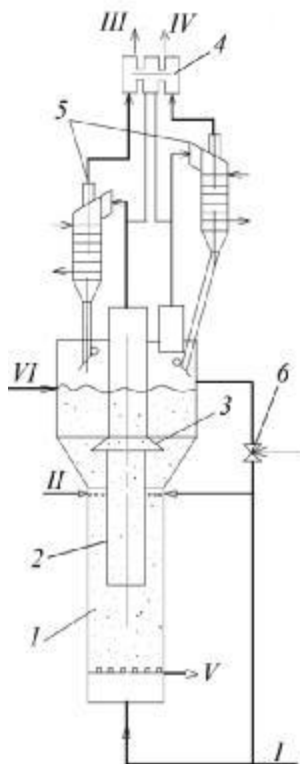


Рис. 1. Принципиальная схема двухзонного газогенератора для воздушной газификации углей:

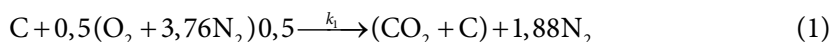
I — подвод воздуха; II — ввод угля; III — отвод продуктов газификации; IV — отвод продуктов сгорания; V — отвод золы; VI — ввод инерта.

1 — псевдоожиженный слой; 2 — труба для отвода полезного продукта; 3 — зонтик для перемешивания продуктов газификации с воздухом; 4 — регулятор равенства давлений в камерах; 5 — водоохлаждаемые циклоны; 6 — регулирующий клапан.

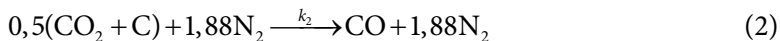
Через газораспределительную решетку вводится воздух. Для поддержания оптимальной температуры в псевдоожиженном слое в кольцевой зазор между обмуровкой газогенератора и центральной трубой вводится дополнительный воздух, необходимый для сгорания летучих, выходящих из угля, и части продуктов газифи-

кации, входящих в кольцевой зазор. Дополнительная теплота, образующаяся в камере сгорания, переносится в реакционный объем посредством циркуляции дисперсных частиц кокса, золы и шлака. Продукты сгорания летучих и части продуктов газификации отводятся отдельно от полезного продукта, что дает возможность избавиться от смолы, уксусной кислоты, скипидаров, фенолов и упростить конструктивные решения газоочистных устройств.

В реакционный объем поступает практически чистый углерод кокса [16]. Поэтому горючий газ образуется в соответствии с обобщающей реакцией: $C + 0,5(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow CO + 1,88N_2$, которая из-за существенной разности скоростей реакции горения углерода с кислородом воздуха с образованием CO_2 и реакции восстановления CO_2 углеродом топлива до CO , разделяется в пространстве и во времени на две: очень быстро протекающую экзотермическую реакцию (1) горения углерода с кислородом воздуха



с теплотой $q_{x1} = 16419$ кДж на 1 кг исходного углерода и медленную эндотермическую реакцию (2) восстановления CO_2 до CO углеродом топлива



с теплотой $q_{x2} = 7136$ кДж на 1 кг исходного углерода. k_1 и k_2 — константы скорости реакции $m^3/(m^2 \cdot s)$. В камере сгорания окисляется часть продуктов газификации по реакции $CO + 1,88N_2 + 0,5(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow CO_2 + 3,76N_2$ с экзотермическим тепловым эффектом $q_{x3} = 23\,596$ кДж на 1 кг исходного углерода. Летучие при сгорании с воздухом дают теплоту сгорания $q_l = 12\,863$ кДж на 1 кг исходного углерода.

Над кипящим слоем в камеру сгорания вводится дополнительный расход воздуха для дожигания CO , выходящего из кипящего слоя углерода в небольших количествах.

Состав продуктов газификации и их теплота сгорания определяются месторождением угля [17], высотой и температурой псевдоожиженного слоя. Так, при температуре $650^\circ C$ в равновесных продуктах воздушной газификации углерода содержится 17 % CO , а теплота сгорания такой смеси составит 2149 кДж/ m^3 ; при температуре $1000^\circ C$ продукты газификации содержат 34,5 % CO , а их теплота сгорания в два раза выше — 4298 кДж/ m^3 .

Моделирование процесса газификации

Для определения оптимальной доли x продуктов газификации углерода топлива, отводимых для полезного использования, составляется система уравнений, включающих в себя:

- 1) уравнение теплового баланса газогенератора

$$\begin{aligned} & \left[(1-x) \cdot q_{x_3} + q_{\text{л}} \right] \eta + q_y + q_{\text{вы}} + q_{\text{в}_1} + q_{\text{в}_2} (1-x) + q_{\text{в}_3} = \\ & = q_{x_2} \left(1 - \frac{r_{\text{CO}_2}}{0,21} \right) + [C_{\text{п.г.}} \cdot x + C_{\text{п.с.}} (1-x) + C_{\text{п.л.}}] \cdot t + q_{\text{н}}. \end{aligned} \quad (3)$$

2) уравнения материального баланса [18]:

- для кислорода на выходе из пузырей

$$r_{\text{O}_2}^h = 0,21 \exp \left(- \frac{sk_1^* \cdot h}{w_b} \right); \quad (4)$$

- для диоксида углерода на выходе из пузырей

$$r_{\text{CO}_2}^h = \frac{0,21 \cdot k_1^*}{k_1^* - k_2^*} \left[\exp \left(\frac{sk_2^* \cdot h}{w_b} \right) - \exp \left(\frac{sk_1^* \cdot h}{w_b} \right) \right]; \quad (5)$$

- для оксида углерода на выходе из пузырей

$$r_{\text{CO}}^h = \frac{0,21 - r_{\text{O}_2} - (1 - \beta^*) r_{\text{CO}_2}}{\beta^* + 0,21 + 0,5 \cdot 0,79}, \quad (6)$$

где $\beta^* = \frac{3 \cdot 0,79 (H^r - 0,126 O^r + 0,429 N^r)}{C^r}$.

Концентрацию азота находим из балансового уравнения:

$$N_2^h = 1 - (r_{\text{O}_2}^h + r_{\text{CO}_2}^h + r_{\text{CO}}^h), \quad (7)$$

где h — высота псевдоожиженного слоя, м.

В уравнениях (3)—(7): q_y , $q_{\text{вы}}$, $q_{\text{в}_1}$, $q_{\text{в}_2}$, $q_{\text{в}_3}$ — теплота, вносимая с сухим углем, с влагой угля, первичным воздухом, подаваемым под газораспределительную решетку, идущим на горение части продуктов газификации и, наконец, на сгорание летучих (их значения для экспериментального газогенератора соответственно равны 27; 66; 116; 227 и 375 кДж на 1 кг исходного углерода); $q_{\text{н}}$ — теплота, затраченная на нагрев до температуры кипения, испарение и нагрев пара, образовавшегося из влаги угля, равная 1230 кДж на 1 кг исходного углерода; $C_{\text{п.г.}}$, $C_{\text{п.с.}}$, $C_{\text{п.л.}}$ — удельные теплоемкости продуктов газификации, продуктов сгорания и продуктов сгорания летучих (равные соответственно 9,68; 19,2; и 25 кДж/К на 1 кг исходного углерода); t — температура псевдоожиженного слоя, η — КПД камеры сгорания; $\eta = 1 - (q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$, где q_3 ; q_4 ; q_5 ; q_6 — потери теплоты с химическим и механическим недожогами, потери теплоты в окружающую среду через обмуровку и с золой, $\eta = 0,8$; \bar{r}_{CO_2} — концентрация CO_2 на выходе из псевдоожиженного слоя; 0,21 — начальная концентрация CO_2 ; множитель $\left(1 - \frac{\bar{r}_{\text{CO}_2}}{0,21} \right)$ учитывает неполноту расходования теплоты на эндотермическую реакцию (2). $1 - x$ — доля продуктов газифи-

кации, отводимых на сжигание для увеличения температуры в псевдоожиженном слое (при $x = 1$ температура в слое равна 760°C); удельная площадь поверхности угольных частиц в псевдоожиженном слое [19] определяется по следующему выражению:

$$s = \frac{6 \cdot \rho(1 - \varepsilon_{mf})z^*}{d_k \rho_k}, \quad (8)$$

где $\rho = \rho_n(1 - z^*) + \rho_k \cdot z^*$, — средняя плотность псевдоожиженного слоя; ρ_n и ρ_k — плотности инертного материала (зола и шлака) и кокса, равные соответственно 3760 и 1650 кг/м³; z^* — концентрация кокса в слое, кг на 1 кг смеси; ε_{mf} — порозность псевдоожиженного слоя при минимальной скорости псевдоожижения [20]; d_k — размер частиц кокса, м. Скорость продуктов газификации увеличивается в 1,21 раза с уменьшением концентрации CO_2 от 0,21 до 0 и описывается зависимостью

стью $w = \frac{w^*}{1 + r_{\text{CO}_2}}$, а средняя скорость продуктов газификации

$$\bar{w} = \frac{w^* \int_{0,21}^0 \frac{dr_{\text{CO}_2}}{1 + r_{\text{CO}_2}}}{0,21} = 0,9w^*, \text{ где } w^* \text{ — скорость на выходе из газогенератора в расчете}$$

на пустое сечение при нормальных условиях. Скорость при рабочих параметрах

t и p $w_p = 0,9w^* \frac{(273+t)p_0}{273p}$, где p_0, p — атмосферное давление и давление в газогене-

раторе, МПа. Скорость подъема пузырей $w_b = \frac{(w_p - w_{mf})(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_p - \varepsilon_{mf}}$, где ε_p и ε_{mf} — по-

розности псевдоожиженного слоя при рабочей скорости и минимальной скорости псевдоожижения, м³/м³ [5]. k_1^*, k_2^* — эффективные константы скорости взаимодействия O_2 и CO_2 с углеродом топлива, рассчитываются по методике [19] на основании известных констант скоростей, м³/(м²с) для плотного слоя при реагировании:

- кислорода с углеродом бородинского угля [21] $k_1 = 3 \cdot 10^3 \exp \left[-\frac{11065}{t + 273} \right]$;
- CO_2 с углеродом того же угля $k_2 = 35 \cdot 10^3 \exp \left[-\frac{17621}{t + 273} \right]$.

Эффективная константа скорости расходования O_2 при взаимодействии с углеродом твердого топлива в псевдоожиженном слое $k_1^* = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{d_k}{\text{Sh} \cdot D} + \frac{s}{\beta}}$, где D —

эффективный коэффициент молекулярной диффузии реагирующего газа, м²/с [22]. Эффективная константа скорости расходования CO_2 при взаимодействии с углеро-

дом твердого топлива в псевдооживленном слое $k_2^* = \frac{1}{\frac{1}{k_2} + \frac{d_k}{Sh \cdot D} + \frac{s}{\beta}}$, где β — инте-

гральный коэффициент массоотдачи: $\beta = \int_0^h \frac{6 \cdot K(w_p - w_{mf})}{d_b(w_p - 0.9w_{mf} + 0.71\sqrt{g \cdot d_n})} \cdot dh$,

где диаметр пузыря, м — $d_n = 0.53(w_p - w_{mf})^{0.4} \cdot h^{0.7}$, а коэффициент K , м/с — $K = 0.75 \cdot 0.9w_{mf} + 0.975D^{0.5} \left(\frac{g}{d_n} \right)^{0.25}$.

Критерий Шервуда, определяющий массоперенос реагента из плотной фазы через пограничный слой в облако пузыря: $Sh = 0.24Ar^{0.333} \left(\frac{d_k}{d_u} \right)^{0.5}$; Ar — критерий Архимеда рассчитывается по методике [20]; d_k и d_u — диаметры частиц кокса и инертного материала (зола и шлака), м.

Усреднение концентрации O_2 и CO_2 на выходе из псевдооживленного слоя производилось на основании двухфазной модели псевдооживленного слоя. На выходе из плотной фазы продукты имеют равновесный состав (табл. 1), а на выходе из пузырей рассчитываются по уравнениям (4), (5).

$$\bar{r}_{O_2} = \frac{w_{mf} \cdot r_{O_2}^p + (w_p - w_{mf})r_{O_2}^h}{w_p}; \bar{r}_{CO_2} = \frac{w_{mf} \cdot r_{CO_2}^p + (w_p - w_{mf})r_{CO_2}^h}{w_p}. \text{ В уравнение (6)}$$

подставляются средние концентрации \bar{r}_{O_2} и \bar{r}_{CO_2} и получают среднюю \bar{r}_{CO} на выходе из газогенератора. Здесь $r_{O_2}^p$ и $r_{CO_2}^p$ — равновесные концентрации O_2 и CO_2 на выходе из плотной фазы (табл. 1).

Таблица 1

Равновесный состав воздушной газификации углерода в зависимости от температуры (давление 0,1 МПа, коэффициент расхода воздуха 0,5) [23]

t, °C	Состав, % об.		
	CO	CO ₂	N ₂
650	17	11	72
750	27	5	68
800	32	2	66
850	33	1,55	65,45
900	33,5	1,1	65,4
950	34	0,65	65,35
1000	3,5	0,2	65,3

Моделирование оптимальных параметров

При моделировании процесса оптимизации параметров газификации задавался ряд температур в диапазоне 760...1000 °С с интервалом 50 °С, для каждой температуры из уравнений (4)—(7) рассчитывался полный состав продуктов газификации на выходе, а из уравнения теплового баланса определялась доля полезно отводимого

$$\text{продукта } x = \frac{q_{x_2} \left(1 - \frac{\bar{r}_{\text{CO}_2}}{0,21} \right) + (C_{\text{ПС}} + C_{\text{ПЛ}}) \cdot t + q_{\text{Н}} - q_{\text{у}} - q_{\text{в}_1} - q_{\text{в}_2} - q_{\text{в}_3} - (q_{x_3} + q_{\text{л}}) \eta}{(C_{\text{ПС}} - C_{\text{ПГ}}) \cdot t - q_{x_3} \eta - q_{\text{в}_2}}.$$

При уменьшении доли x (увеличении $1 - x$) температура в псевдоожиженном слое увеличивается, что приводит к повышению концентрации СО в продуктах газификации и их теплоты сгорания. Производство $x \cdot r_{\text{СО}}$ возрастает, достигает максимального значения, затем убывает.

Максимальному значению произведения $x \cdot r_{\text{СО}}$ соответствует оптимальная температура процесса газификации. При этом углерод не тратится на перегрев продуктов газификации. Остается больше углерода на газификацию диоксидом углерода для получения СО.

В результате расчетов было установлено, что максимальная концентрация СО при минимальном расходе топлива на нагрев продуктов газификации равная $(1 - x) q_{x_3} \eta$ соответствует значению $x = 0,92$, при этом оптимальная температура в слое равна 820 °С, а продукты газификации имеют теплоту сгорания 3680 кДж/м³.

Эксперимент

Для проверки модели были проведены опыты на экспериментальном газогенераторе с внутренним диаметром 0,2 м. Инертным заполнителем служили частицы электрокорунда размером 0,5 мм, топливом — частицы бородинского угля средним размером 0,32 мм. Характеристика топлива (марка 2Б, класса Р), (% по массе): $W^r = 33$; $A^r = 7,4$; $C^r = 46,6$; $H^r = 3$; $N^r = 0,6$; $O^r = 13,2$; $V^{\text{daf}} = 47$; $Q^r_i = 15\,280$ кДж/кг. Концентрация кокса в слое $z^* = 0,1$ кг на 1 кг смеси, $d_k = 0,32 \cdot 10^{-3}$ м, $\varepsilon_{mf} = 0,218$ м³/м³, удельная площадь поверхности угольных частиц в слое $S \approx 700$ м²/м³. Высота слоя $h = 1$ м. Расход угля 25,4 кг/ч, общий расход воздуха 105 м³/ч, в том числе под газораспределительную решетку 50 м³/ч, на сжигание части продуктов газификации и летучих 13...55 м³/ч, температура в слое 820 °С. Потеря углерода с уходящей золой 2 %. Сравнение расчетов с экспериментом представлено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение расчетов по модели с экспериментом

Данные	Концентрация компонентов в продуктах воздушной газификации, % об.					
	r_{CO_2}	r_{O_2}	r_{N_2}	r_{CO}	r_{CH_4}	r_{H_2}
Экспериментальные	7,7	3,1	61,7	19,5	1,2	6,8
Расчетные по модели	11,3	3,0	64,9	20,8	0	0

Доли продуктов газификации x и $1-x$ изменяли варьированием диаметра внутренней трубы для отвода полезного продукта.

Скорость на пустое сечение газогенератора при нормальных условиях $w^* = 0,56$ м/с. Состав получаемых продуктов газификации определяли на хроматографе. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

При уменьшении доли x с 1 до 0,65 удалось повысить температуру с 760 до 1000 °С, концентрацию CO с 14 до 26 %, теплоту сгорания Q_H^c с 2400 до 4100 кДж/м³, которую рассчитывали по уравнению Д. И. Менделеева по составу продуктов газификации.

На рис. 2 приведены результаты оптимизации мощности газогенератора $N = BxQ_H^c$, где B — объемная производительность газогенератора на все сечение, м³/с, при нормальных условиях. Максимальное значение N приходится на $x = 0,92$, $N = 47$ кВт.

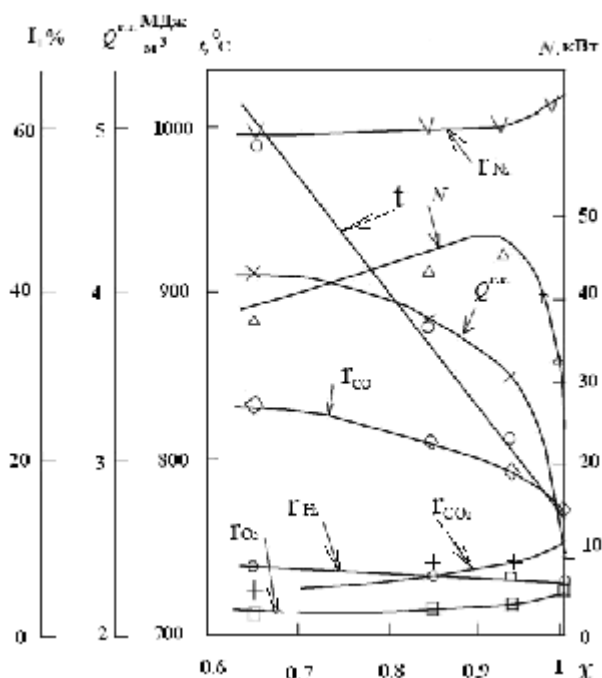


Рис. 2. Зависимость температуры, состава продуктов воздушной газификации ирша-бородинского угля, теплоты сгорания газа и мощность газогенератора от x

Выход сухих продуктов газификации на 1 кг рабочего угля приблизительно равен 2,0 м³.

Химический КПД газогенератора, %:

$$\eta_x = \frac{2,0 \cdot Q_H^c \cdot x \cdot 100}{Q_i^r} = \frac{2,0 \cdot 3680 \cdot 0,92 \cdot 100}{15280} = 44$$

Заключение

1. Конструкция двухзонного газогенератора обеспечивает получение бесшумных низкокалорийных продуктов газификации твердого топлива, пригодных для сжигания в когенерационных установках малой мощности.

2. Предложенная кинетическая модель процесса газификации позволяет рассчитывать состав продуктов газификации и проводить оптимизацию процесса по температуре слоя. Для бородинских углей оптимальная температура 830 °С (при этом доля отводимых продуктов газификации $x = 0,92$), теплота сгорания продуктов газификации составляет 3860 кДж/м³.

3. Согласно литературным источникам, получаемый низкокалорийный газ может сжигаться в камерах сгорания газопоршневых мини-ТЭЦ и в гибридных ПГУ с двухступенчатым подогревом циклового воздуха.

А. В. Жуков, Е. В. Стариков, С. Е. Щеклеин

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ, ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В настоящей работе рассматривается 16-ти каналный автоматизированный измерительный комплекс для измерения температурных режимов работы теплопередающей системы на основе парового регулируемого нагрева тягового участка термосифона. Данный комплекс состоит из аналого-цифрового преобразователя совместимого с персональным компьютером, мультиплексора, датчиков температуры. Он позволяет в автоматическом режиме производить одновременно замеры температуры в пространственно удаленных друг от друга точках с формированием массива данных в памяти компьютера. Приведены примеры интерфейса рабочей программы для связи аналого-цифрового преобразователя с компьютером.

Ключевые слова: измерительный комплекс, АЦП, автоматизированные измерения, термосифон, теплообменники.

In the real work the 16-channel automated measuring complex for measurement of temperature conditions of work of heat-transmitting system on the basis of steam adjustable heating of a traction site of the thermosyphon is considered. This complex consists of an analog-to-digital converter compatible to the personal computer, the multiplexer, temperature sensing devices. It allows to make in the automatic mode at the same time measurements of temperature in spatially the points removed from each other with formation of a data file in memory of the computer. Examples of the interface of the working program for communication of an analog-to-digital converter with the computer are given.

Keywords: measuring complex, ADC, automated measurements, thermosyphon, exchanger.

Во время проведения научно-исследовательских работ часто возникает необходимость одновременного определения большого числа различных характеристик испытываемых установок. Аналогичная проблема возникла в ходе изучения рабочих характеристик термосифонного теплообменника. Во время проведения эксперимента необходимо производить измерения температуры одновременно в нескольких местах по всей высоте исследуемого объекта. А именно на восходящем и нисходящем потоках паров этанола, равных около 7 м каждый. Возникает задача точного определения передаваемой мощности от изотермического источника тепла к системе охлаждения. Использование методов нагрева с помощью организации конвекции либо электрического обогрева приводит к существенной неравномерности температуры стенки по длине обогреваемого участка и не обеспечивает требуемых условий изотермичности зоны нагрева [1].

Для решения данной задачи на кафедре АСиВИЭ УрФУ был разработан и собран 16-канальный автоматизированный измерительный комплекс, который состоит из аналого-цифрового преобразователя совместимого с персональным компьютером, мультиплексора и датчиков температуры. Данная система позволяет в автоматическом режиме производить замеры температуры с одновременным формированием массива данных в памяти компьютера.

В настоящей работе рассматривается применение 16-канального автоматизированного измерительного комплекса для измерения температурных режимов работы теплопередающей системы на основе парового регулируемого нагрева тягового участка термосифона. Общая схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

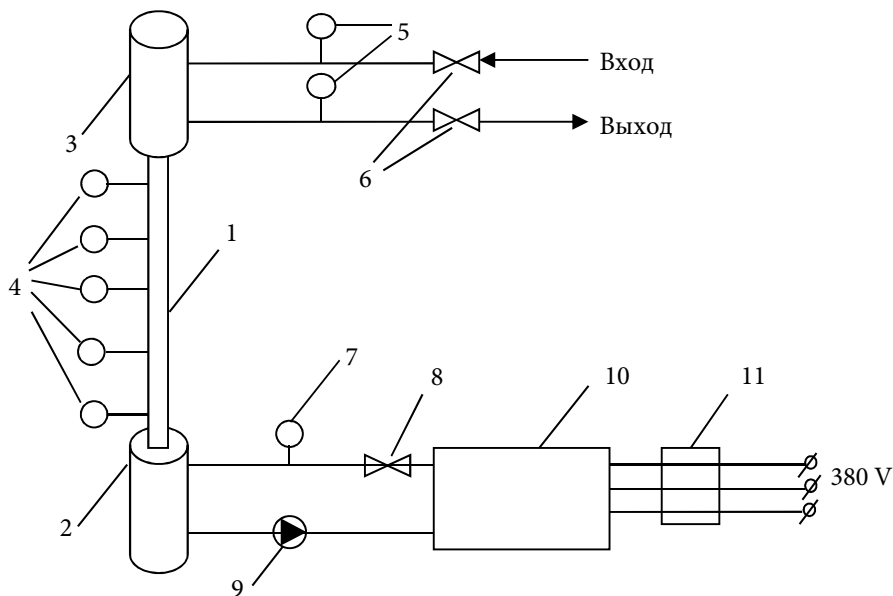


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки:

- 1 — термосифон, 2 — камера нагрева, 3 — камера охлаждения,
4, 5 — датчики температуры, 6, 8 — регулирующие вентили,
7 — манометр, 9 — насос, 10 — парогенератор, 11 — электросчетчик.

Технические характеристики 12-битного, 16-канального АЦП

Разрядность	12 бит (без знака)
Число каналов	16
Диапазон измеряемых напряжений	от 0 до +5 В
Максимальное число измерений	200 измерений в секунду

Комплектация (основные детали) измерительного комплекса:

- а) 12-битный, 16-канальный аналого-цифровой преобразователь (рис. 2);

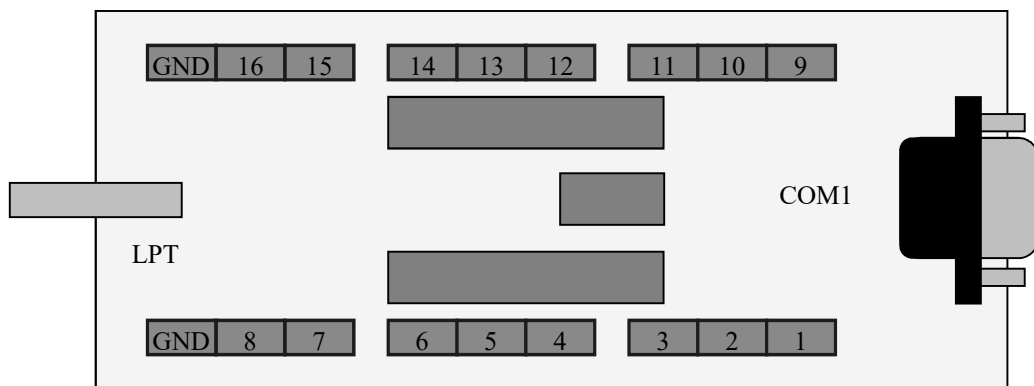


Рис. 2. 12-битный, 16-канальный аналого-цифровой преобразователь

б) 10-канальное устройство для согласования входных сигналов датчика (рис. 3);

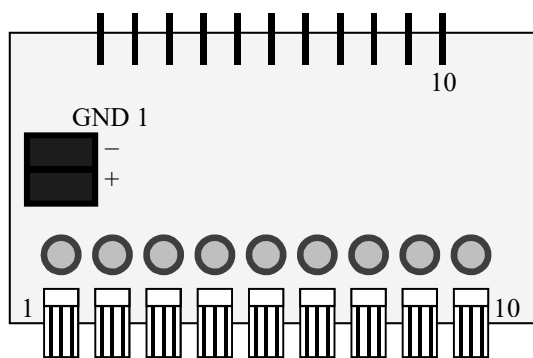


Рис. 3. 10-канальное устройство для согласования входных сигналов датчика

в) набор температурных датчиков (рис. 4);

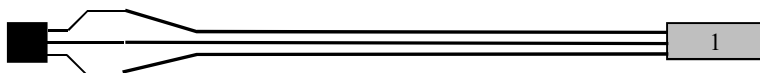


Рис. 4. набор температурных датчиков

г) удлинитель для COM-порта.

Особенностями данного прибора являются: большое быстродействие (максимальная частота дискретизации составляет до 75 кГц), высокая точность измерений (разрешение АЦП — 12 бит), достаточно большое число каналов (с общей землей 16 шт.), входное сопротивление не менее 1 МОм, время преобразования не более 10 мкс, передача данных осуществляется посредством порта типа RS-232.

В данной системе для измерения температуры использовались термодатчики типа LM35, которые могут применяться в диапазоне температур от –50 до 150 °С. Калибровка датчиков осуществлена таким образом, что на изменение температуры

на 1°C происходит изменение выходного сигнала на 10 мВ. Нелинейность находится в диапазоне $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$.

В системе применялось 10 датчиков, включенных по схеме, с низкочастотным RC-фильтром на входе (рис. 5).

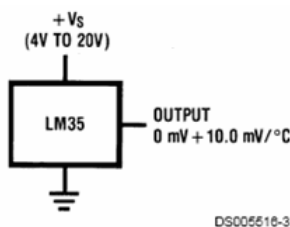


Рис. 5. Схема датчика температуры

Основное устройство (аналого-цифровой преобразователь) не требует внешнего питания, потому для корректной работы оно должно быть подключено как к LPT-, так и COM-порту. COM-порт должен быть только 1-ым (COM-1), как и LPT.

Для питания датчиков подойдет любой источник постоянного тока с напряжением от 9 до 20 В. Датчики не защищены от переплюсовки (неправильного подсоединения к питанию), поэтому необходимо внимание при подключении данного элемента схемы.

Земля у всех устройств схемы общая, поэтому точки плат соединены с надписью GND.

Работа с программой

На данном этапе схема собрана и подключена к компьютеру, оснащенного операционной системой Windows, желательно XP.

В рабочий комплект программы входят файлы:

- ADC.exe — главный исполняемый файл программы;
- Smpport.sys — драйвер доступа к портам под WinXP;
- Smpport.vxd — драйвер доступа к портам под Win9x;
- Data.txt — файл в котором находятся результаты измерений;
- Main.ini — файл с настройками программы.

Запуск программы осуществляется путем запуска файла ADC.exe. При первом запуске может появиться окно установки драйверов (рис. 6).

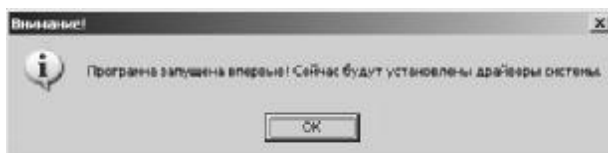


Рис. 6. Окно установки драйверов

После нажатия на кнопку «ОК» драйверы устанавливаются в корневой каталог Windows. Программа готова к работе после перезагрузки.

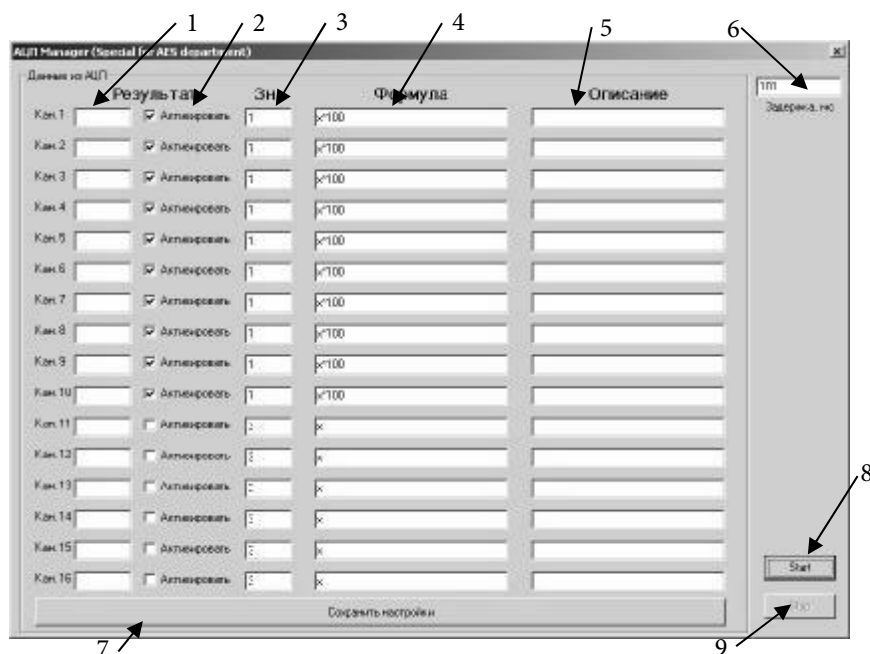


Рис. 7. Главное окно программы

Главное окно программы:

- 1 — в данном поле выводится результат, полученный из АЦП;
- 2 — позволяет активизировать любой из каналов АЦП. Чем меньше каналов используется, тем больше измерений в секунду можно сделать одним каналом;
- 3 — определяет количество знаков результата после запятой. Обрез знаков происходит по математическому округлению;
- 4 — поле для ввода формулы пересчета. В качестве переменной x — результат измерения. В поле формулы можно использовать операции \cos , \sin , \tan , \times , $/$, $+$, $-$;
- 5 — позволяет ввести комментарий к измерению, по данному каналу;
- 6 — устанавливает задержку опроса преобразователя в мс;
- 7 — кнопка, позволяющая сохранить настройки программы;
- 8, 9 — запуск/остановка преобразователя.

Стандарт файла данных позволяет использовать результаты в расчетах Excel. Для этого достаточно скопировать данные из текстового файла в лист Excel.

Данный автоматизированный цифровой измерительный комплекс незаменим при решении широкого спектра задач, в которых требуется одновременное получение и фиксация большого массива данных. От существующих отечественных и зарубежных аналогов его выгодно отличает сравнительно низкая себестоимость, поэтому он может найти широкое применение и будет востребован.

А. В. Золотухина

РИСКИ ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ

В статье рассмотрена модель открытых инноваций. Проанализированы причины перехода к модели открытых инноваций, а также основные способы ее реализации. Выявлены значительные проблемы и риски при применении модели в России. Даны рекомендации по методам управления рисками.

Ключевые слова: *коммерциализация технологий, открытые инновации, риски, spin-off компании, технопарки.*

The article describes a model of open innovation. The reasons for the transition to a model of open innovation and the main ways of its implementation were analyzed. Considerable problems and risks of using the model in Russia were identified. Recommendations to manage risk were given.

Keywords: *technology commercialization, open innovation, risks, spin-off, technology parks.*

На протяжении многих лет вся цепочка от создания до реализации инноваций лежала внутри компании. В соответствии с такой политикой все разработки держались в секрете, а внешние технологии считались подозрительными и ненадежными. Такая традиционная модель закрытых инноваций к началу XXI века перестала работать [3]. Это произошло из-за роста расходов на новые разработки и существенного уменьшения жизненного цикла продуктов. Кроме того растущая наукоемкость современных инноваций вынуждает многие компании отказываться и от внешних разработок из-за высокой цены доступа к ним.

Для того чтобы выжить в условиях современной глобализованной экономики Чесбро выдвинул альтернативную теорию открытых инноваций. Эта теория предполагает использование внешних источников для создания новых технологий и открытость для других компаний по отношению к своим разработкам. Теория позволяет получить максимальную эффективность от совместного создания и развития инноваций. В рамках этой концепции компании открывают доступ к своим технологиям для других компаний, и, следовательно, увеличивают прибыль. С другой стороны, компании активно используют внешние разработки и не тратят средства на изобретение велосипеда [4]. Поэтому именно в бизнес-модели открытых инноваций решается проблема растущих затрат за счет использования внешних ресурсов (технологических и людских), и таким образом экономятся и время, и деньги.

На данный момент существует множество форм реализации этой бизнес-модели: с помощью стратегических альянсов, субподрядов и аутсорсинговых контрактов, различных видов лицензирования технологий, создания совместных пред-

приятий, создания автономных компаний на базе университетов, совместного использования технологического оборудования и установок, межфирменного сотрудничества в сфере технологической стандартизации, кооперативных венчурных инвестиций и т. д. [4]

В России наиболее успешно модель открытых инноваций реализуется в госкорпорации «Ростех». На данный момент успешно завершены создание холдинговых компаний (интегрированных структур), передача им активов и реорганизация корпоративного центра (центрального аппарата государственной корпорации «Ростех») и переход к новой организационной структуре. «Ростех» также провел «Первый открытый конкурс гражданских инновационных проектов организаций оборонно-промышленного комплекса России». Отличительной чертой конкурса является участие в нем наряду с гражданскими предприятиями большого числа организаций оборонно-промышленного комплекса, которые в нашей стране являются лидерами технологического развития, обеспечивают значительную часть высокотехнологического экспорта [5].

Но в модели открытых инноваций все еще остается множество нерешенных проблем. С учетом особенностей российского законодательства и менталитета компании не торопятся применять эту концепцию из-за большого количества рисков. Возникает опасность утечки технологий из компании, потери контроля интеллектуальной собственности, трудности в подборе партнеров, сложности в интеграции заимствованных разработок, а также психологические барьеры, связанные с нежеланием делиться разработками и доверять своим конкурентам.

В компаниях с большим количеством собственных разработок часто накапливается немало «лишней» интеллектуальной собственности, которой компании не хотят делиться, т. к. потратили немало усилий на ее разработку. В таких случаях помогает выращивание spin-off-компаний: финансирование собственных стартапов, которые смогут построить на базе этой технологии серьезный бизнес [2].

Реализация концепции открытых инноваций включает в себя каналы коммуникации, сетевые связи и приемы взаимодействия корпорации с внешним миром [1]. Здесь и возникают основные риски. Но избежать их можно за счет создания понятной и жесткой инфраструктуры, например, в виде технопарка. Именно на базе технопарка можно собрать всех участников инновационного процесса. В России существуют примеры технопарков, которые уже хорошо себя зарекомендовали. При правильном использовании технопарка, он становится площадкой для инициации инноваций и привлечения внешних партнеров.

Современная экономика заставляет менеджеров многих крупных компаний пересмотреть подходы к управлению инновациями. Многие компании уже функционируют на принципах открытых инноваций, сами того не осознавая, т. к. создание инноваций очень затруднено в закрытых компаниях. Инновационные процессы предполагают свободное перемещение знаний, технологий, изобретений и талантов. И российскому бизнесу еще предстоит этому научиться.

Литература

1. Завлин П. Н. Инновационная деятельность в современных условиях // Инновации. 2001. № 8.
2. Трифилова А. А. «Открытые инновации» — парадигма современного инновационного менеджмента // Инновации. 2008. № 1.
3. Трифилова А. А., Ванхавербеке В. Формирование и развитие теории открытых инноваций // Инновации. 2008. № 1.
4. Чесбро Г. Открытые инновации. Создание прибыльных технологий. [пер. с англ.]. М.: Поколение, 2007.
5. <http://rostec.ru/about/strategy>.

Р. А. Иванов, В. Д. Селезнёв

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ В МЕТОДЕ 3D ПЕЧАТИ НА ПРИМЕРЕ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ

Производится изучение процесса селективного лазерного плавления (SLM) — технологии 3D печати. Средствами пакетов Digimat и Ansys произведено моделирование и расчет объемного температурного поля. На порошке Al получены опытные данные построения детали. Произведено сравнение результатов предложенной компьютерной модели и натурального эксперимента.

Ключевые слова: *SLM, селективное лазерное плавление, лазерное излучение, моделирование, Ansys, Digimat.*

The paper is devoted to computer modeling of temperature distributions and experimental data analysis of the selective laser melting process (SLM) in 3D printing technology, on the example of aluminum powder.

Keywords: *SLM, selective laser melting, laser radiation, modeling, Ansys, Digimat.*

В настоящее время одним из быстрорастущих направлений современной промышленности являются аддитивные технологии (АТ) — послойное создание объемных структур или 3D печать. Наибольший технологический интерес представляет изготовление конечных деталей из металлов. Нюанс данного производства состоит в том, что течение процесса лазерной обработки порошкового слоя (композитного материала) и точность полученных в результате конечных изделий, с определенными характеристиками и свойствами, зависят от большого числа факторов, таких как: мощность, длина волны и размера фокусирующего пятна лазерного излучения, параметров порошкового материала (композита), свойств исходного сплошного материала, сценария обработки и т. д. Все эти характеристики определяют физику процесса и, соответственно, математический аппарат, который впоследствии определяет методику (программу) обработки.

В силу большой коммерческой ценности большинство исследований в этом направлении не имеют широкой огласки, а уже существующие установки селективного лазерного плавления спроектированы так, чтобы к пользователю поступало как можно меньше информации о процессе. Но стоит отметить, что даже самые современные системы подобного рода создают изделия, далекие от идеала как по качеству, так и по скорости их печати.

Селективное лазерное плавление

В основе этого метода лежит последовательная реализация сечений объемных объектов, путем сканирования лазерным излучением тонких (20...100 мкм) слоев ме-

таллического, мелкодисперсного, сферодизированного порошка, с полным переходом его в жидкую фазу внутри треков расплава.

Следовательно, одной из основных частей в SLM производстве является лазерная система. Установлено, что использование лазеров с длиной волны 1...1,1 мкм для нагрева металлов и карбидов предпочтительнее, поскольку они на 25...65 % [1] лучше поглощают генерируемое лазером излучение, чем при обработке длинноволновыми аналогами.

Также, немаловажными являются характеристики обрабатываемой порошковой среды, которые значительно отличаются от таковых у их сплошных «братьев» и во многом зависят от способов нанесения и уплотнения.

При воздействии коротковолнового ($\lambda \approx 1$ мкм) лазерного излучения на сфероподобные металлические частицы с размером больше 12 мкм, процесс рассеяния-поглощения инфракрасного излучения происходит аналогично сплошной среде [2].

Стоит отметить и то, что процессы скоростной, точечной, высокотемпературной обработки металлов характеризуются быстрыми, по сравнению с плавлением, процессами кристаллизации ($V_k > 10^3$ К/с) [2]. И этот факт позволяет делать значительные упрощения в описании.

Моделирование

Средствами программного пакета Digimat, используя описание сплошного материала и информации о микроструктуре (объемные доли и т. д.), генерируя внутреннюю геометрию, применяя процедуру гомогенизации, создают модель композитной среды [3].

Модель облучения получена из совмещения цилиндрического и гауссовского распределения энергии лазерного излучения [4]:

$$\bar{q} = (1 - e^{-2})\alpha \frac{P}{\pi R^2} = 0,864\alpha \times q_{cyl},$$

где P — мощность лазера, R — радиус пучка, α — коэффициент поглощения.

Температурное поле рассчитывается методом конечных элементов и может быть представлено в виде квазистационарной задачи для движущегося источника тепла с использованием уравнения теплопередачи Фурье [5]

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q},$$

где ρ — плотность, C — удельная теплоемкость, k — теплопроводность, v — скорость, а \dot{q} представляет собой мощность источника тепла.

Дополнительные и граничные условия:

– Разогрев всего порошка от подложки: $T = T_0$

– Поверхностная конвекция (закона охлаждения Ньютона-Рихмана): $q_{conv} = -h(T - T_0)$, где q_{conv} — поток тепла охлаждения на единицу площади, а h — коэффициент конвективной теплопередачи.

Параметры обработки и характеристики материалов

Гранулометрический анализ расходного материала из сплава Al показал, что средний размер частиц порядка 20 мкм, а содержание частиц с размером менее 12 микрон составляет около 17 %, и их оптический вклад при моделировании можно не учитывать (рис. 1). Но «рыхлая» структура обрабатываемой порошковой поверхности вносит свой вклад. Таким образом, коэффициент поглощения порошка Al 0,33, тогда как у сплошного материала это значение ~0,12.

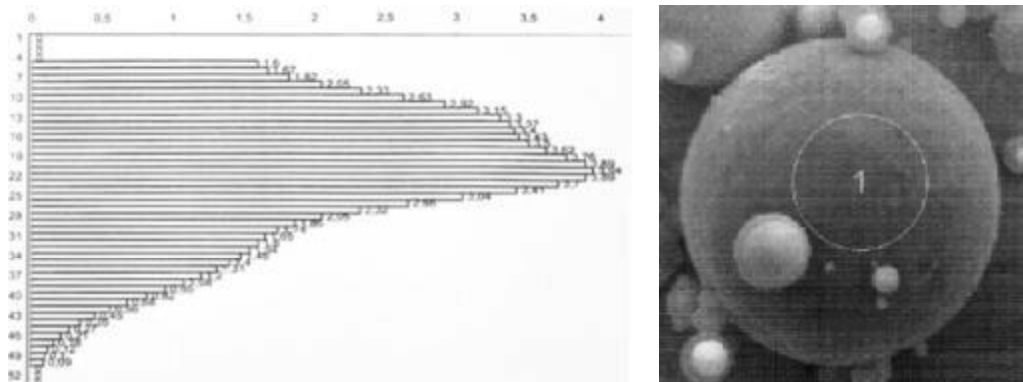


Рис. 1. Гранулометрический анализ

При насыпке происходит прижимание ножом, в результате плотность составляет 28 % от теоретической плотности сплошного материала.

Остальные параметры восстанавливаются средствами пакета Digimat [3].

В табл. 1 представлены параметры функционирования модели и реальной аддитивной SLM-машины.

Таблица 1

Режим работы SLM

Мощность	400 Вт
Скорость сканирования	2 378 мм/с
Диаметр пятна лазера	100 мкм
Слой порошка	40 мкм
Температура камеры	40 °С
Температура платформы	100 °С
Расстояние между центральными линиями треков расплава	140 мкм
Размер порошинки	20 мкм

Печать происходит по зигзагообразному пути (рис. 2), на стальной (ALSI 310) подложке, размеры которой можно считать бесконечными в сравнении с областью сканирования. В модели процесса последовательно сканируется 5 слоев, на каждом из которых реализуется квадратная площадка со стороной 1 мм. Камера построения заполнена инертным газом аргоном.

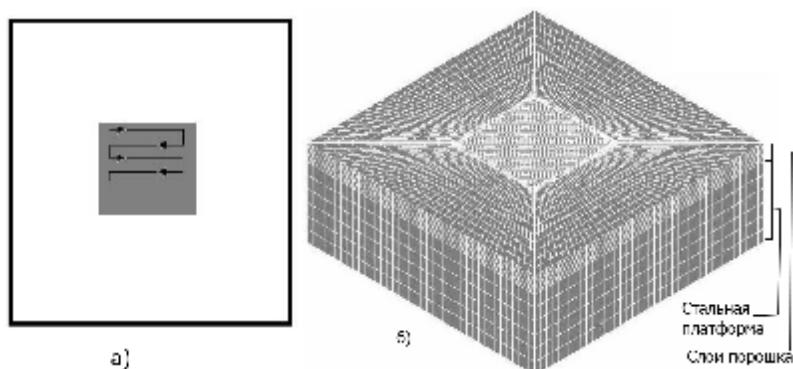


Рис. 2. а) — трек сканирования и б) — платформа построения

Функционирование модели и натурального эксперимента отличается длиной треков и изменением их ориентации при переходе в новый слой, все остальные параметры идентичны.

Результаты моделирования и эксперимента

Из анализа внутренней структуры изделия по косому сечению следует: частицы порошка полностью расплавляются, образуя характерные области сканирования (рис. 3). Измерение геометрии последних говорит о том, что: примерный объемный образ ванны расплава — парабола, поверхностная ширина линии (треков) расплава составляет 160...220 мкм, величина зацепления соседнего трека 38...48 мкм, т. е. присутствует область двойного сканирования, это аргументировано стремлением к целостности получаемого изделия: отсутствия нерасплавленных пустот, которые пагубно сказываются на прочностных характеристиках.

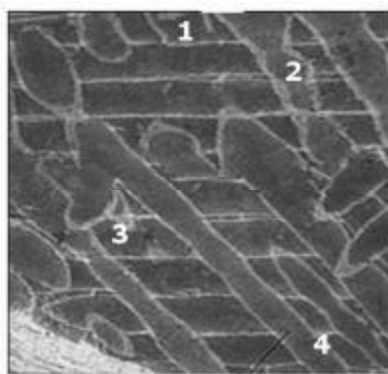


Рис. 3. Срез изделия по ГОСТ 1497, тип III

Результаты моделирования удовлетворительно согласуются с экспериментом. На рис. 3 и 4 цифрами 1–4 проведена параллель между моделированием лазерного сканирования и реальным срезом детали в результате аналогичного процесса обработки. Максимальное отклонение геометрии треков расплава не превышает 20 %.

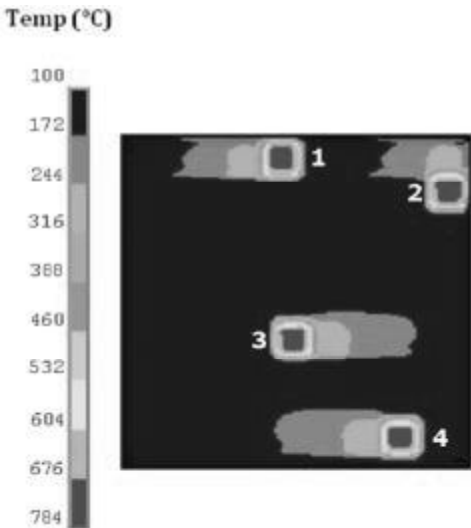


Рис. 4. Моделирование сканирования

Изображение лазерного воздействия, демонстрирует тепловые градиенты в порошковом слое: процесс имеет локальный характер, скорость возвращения к параметрам окружающей среды 0,7 мс (рис. 5а), отклонение нагрева вдоль движения материала 650 мкм (рис. 5б) поперек движения 230 мкм, наблюдается явный «скос» температурного градиента в сторону сплошного материала.

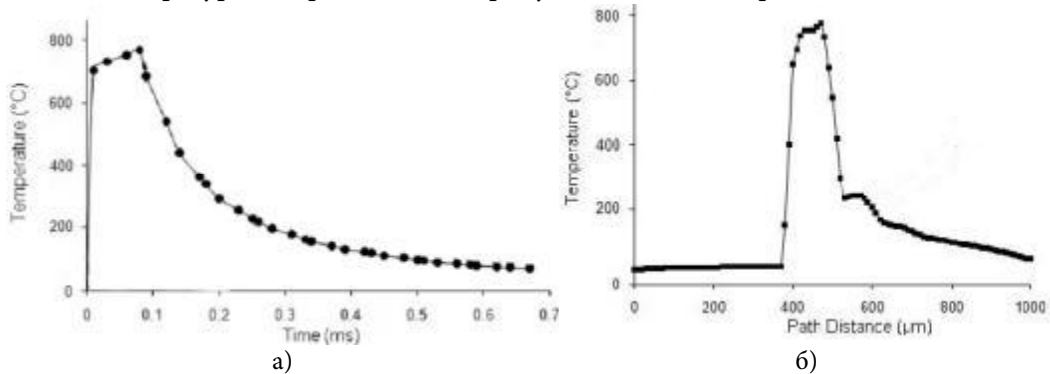


Рис. 5. а) — скорость остывания и б) — температура вдоль трека точки 3

Важным результатом является зафиксированное изменение параметров теплоотвода по слоям. Из него следует, что первый слой порошка, который наносится непосредственно на стальную пластину-платформу, при сканировании, имеет наиболее низкую максимальную температуру, в результате сильного теплоотвода в подложку (рис. 6).

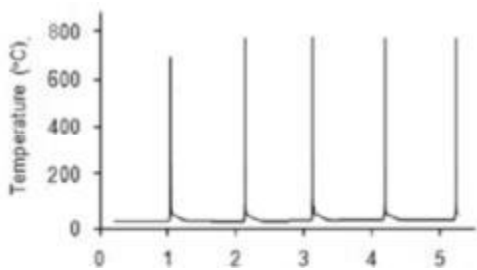


Рис. 6. Максимальный нагрев каждого слоя

Но в данном наблюдении интересно то, что уже второй слой обладает максимальной температурой, присущей всем последующим насыпкам (табл. 2). Т. е. влияние стальной пластины нивелируется первым 40-микронным слоем.

Таблица 2

Изменение температуры по слоям

Слой	1	2	3	4	5
Температура, °C	692	783	784	781	784

Учитывая последний факт, глубину проплавления слоя порошка следует измерять начиная со 2-го слоя. В случае движения со скоростью 2378 мм/с величина проплавления составила ≈ 55 мкм (рис. 7).

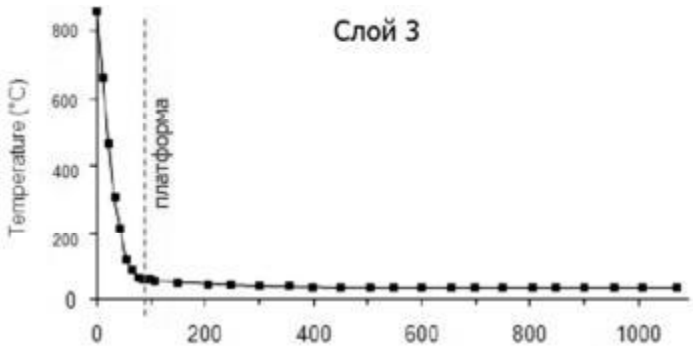


Рис. 7. Зависимость прогрева лазерным излучением от глубины

Заключение и выводы

Разработана методология моделирования процесса селективного лазерного плавления порошков, учитывающая свойства композитных материалов. Результаты позволяют сделать вывод о течении тепловых процессов в SLM, а также получить геометрические параметры треков сканирования, по которым можно оптимизировать методы обработки.

В частности для случая взаимно перпендикулярного сканирования слоев с параметрами представленными табл. 1 для порошка алюминия, мы имеем ванну расплава с поверхностным диаметром 180 мкм и глубиной проплавления 55 мкм. Следовательно, для обеспечения целостности, т. е. отсутствия непроплавленных областей необходимо обеспечить тройное зацепление: соседних треков сканирова-

ния и предыдущего слоя. Для вышерассмотренного случая при выбранных параметрах такая точка располагается на 2 мкм ниже конца нового порошкового слоя, что обеспечивает отсутствие дефектов (рис. 8).

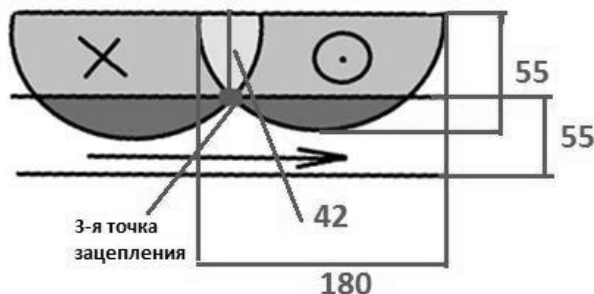


Рис. 8. Вариант оптимального взаимного пересечения треков и слоев

Данная методика применима к другим аналогичным системам и гибко подстраивается под разные параметры. Но достаточна только для начальной разработки сценария лазерной обработки. Для уменьшения величины отклонений от реального изделия необходимо учитывать процессы внутреннего структурообразования. Также дальнейшее развитие модели подразумевает учет внутренних напряжений.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Инновационно-внедренческого центра Регионального инжинирингового центра (ИВЦ РИЦ).

Литература

1. Yin J., Zhu H. *et al.* Simulation of Temperature Distribution in Single Metallic Powder Layer for Laser Micro-Sintering // Computational Materials Science. 2012. Vol. 53(1). P. 333–339.
2. Digimatto Ansys. Document. Version 1.0. October 2007. P. 3–10.
3. Crafer R. C., Oakley P. J. Laser Processing in Manufacturing // Chapman & Hall. 1993. Vol. 10. P. 195–200.
4. Chen W.-L., Yang Y.-C., Lee H.-L. Estimating the Absorptivity in Laser Processing by Inverse Methodology // Applied Mathematics and Computation. 2007. Vol. 190(1). P. 712–721.
5. Гегузин Я. Е. Физика спекания. М.: Наука, 1984. 312 с.
6. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report // Wohlers Report. 2013. P. 130–153.
7. Бурыка В. А., Фокин В. Г., Кураева Я. В. Инженерный анализ в ANSYSWORKBENCH: Учеб. Пособие. СГТУ, 2013. 140 с.
8. Stefanescu D. M. Fundamentals of Solidification, Metallography and Microstructure. ASM Handbook, ASM International, 2004. Vol 9. 157 p.

Д. О. Ильин, А. С. Вохминцев, А. В. Чукин, И. А. Вайнштейн

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Синтезированы мембраны анодированного оксида алюминия (АОА) толщиной 100 мкм в гальваностатическом режиме в растворе щавелевой кислоты. Проведен рентгенофазовый анализ полученных образцов после отжига в течение 5 часов в диапазоне 500...1250 °С. Показано, что фазовый состав отожденного АОА изменяется в следующем порядке: аморфный \rightarrow Al_2O_3 (кубический) \rightarrow $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Обнаружено, что в спектрах катодолуминесценции рентгеноаморфных мембран наблюдается структурированная широкая полоса в области 2,1...2,65 эВ, связанная с кислород-дефицитными центрами F-типа. В образцах АОА с кристаллической структурой после высокотемпературного отжига 1100...1250 °С доминирует интенсивное красное свечение примесей Cr^{3+} (1,78 эВ) и Mn^{4+} (1,82 эВ).

Ключевые слова: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, рентгенофазовый анализ, анодирование, F-центры, ионы хрома и марганца.

Anodic aluminum oxide (AAO) membranes with 100 μm thickness were synthesized in galvanostatic mode in oxalic acid solution. Obtained samples after annealing in 500...1250 °C range for 5 h were analyzed by X-ray diffraction. Phase composition of annealed AAO changes in the following order: amorphous \rightarrow Al_2O_3 (cubic) \rightarrow $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. It was found that there is a broad cathodoluminescence band in the region of 2,1...2,65 eV due to F-type oxygen deficient centers in amorphous membranes. Intensive red emission caused by Cr^{3+} (1,78 eV) and Mn^{4+} (1,82 eV) impurities dominates in AAO samples with crystalline structure after high temperature annealing in 1100...1250 °C range.

Keywords: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, X-ray diffraction analysis, anodizing, F-centers, chrome and manganese ions.

Наноструктуры на основе анодированного оксида алюминия (АОА) представляют научный и практический интерес при разработке элементов микро- и оптоэлектроники [1]. Исходные матрицы нанопористого АОА широко используются в качестве шаблонов при формировании различных композитов и упорядоченных структур, геометрические параметры которых можно контролировать на стадии синтеза [2]. Известно, что материалы на основе оксида алюминия характеризуются собственной и примесной люминесценцией, характеристики которой существенно варьируются в зависимости от условий получения и фазового состава [3]. Цель данной работы состояла в изучении влияния температуры отжига на параметры спектров катодолуминесценции (КЛ) нанопористых мембран АОА.

Образцы и методика

В качестве исходного материала использовалась фольга из технического алюминия ($Al \geq 99,5\%$, основные примеси — Fe и Si $< 0,5\%$) толщиной 150 мкм [3]. Предварительно фольга отжигалась при температуре 500 °С в течение 5 ч для удаления дефектов прокатки. Перед анодированием алюминиевые пластинки помещались в этанол, в ультразвуковую ванну на 10 мин для обезжиривания поверхности. В качестве электролита использовался раствор 3,6 вес. % $(COOH)_2$. Первое анодирование проводилось в гальваностатическом режиме при плотности тока $j = 20 \text{ мА/см}^2$ в течение 15 мин. Затем оксидная пленка удалялась в растворе ангидрида хрома и ортофосфорной кислоты при 90 °С за 45...60 мин. Второе анодирование проходило при тех же параметрах, что и первое, в течение 4 ч.

Для отделения оксидного слоя от алюминиевой пластинки, подложки окунались в водный раствор $CuCl_2$, после чего алюминий полностью растворялся. Наконец, мембраны АОА выдерживались в растворе ангидрида хрома и ортофосфорной кислоты при 90 °С в течение 5...10 мин для удаления остаточных продуктов предыдущих реакций и промывались в дистиллированной воде. Полученные слои АОА толщиной 100 мкм отжигались на воздухе в течение 5 ч при различных температурах. Было синтезировано семь образцов: исходный, т. е. без отжига (1), 500 °С (2), 700 °С (3), 900 °С (4), 1100 °С (5), 1200 °С (6) и 1250 °С (7).

Фазовый анализ выполнялся на рентгеновском дифрактометре PANalytical X'Pert Pro при облучении K_α линией меди. XRD спектры регистрировались в диапазоне углов $2\theta = 10...90^\circ$ с шагом $0,05^\circ$. Измерение катодолюминесцентных (КЛ) спектров проводилось с использованием установки КЛАВИ в диапазоне длин волн 250...900 нм. Энергия электронов в пучке составляла 140...150 кэВ, длительность импульса — 2 нс, плотность тока — 10^3 А/см^2 .

Результаты и обсуждение

XRD спектры (рис. 1) для образцов 1–3 демонстрируют рентгеноаморфность соответствующих структур. Этот факт вполне согласуется с известными данными о том, что АОА без какой-либо температурной обработки является аморфным [5, 6]. В спектре для образца 4 наблюдаются линии, которые свидетельствуют о наличии наряду с аморфным состоянием фазы Al_2O_3 с кубической кристаллической решеткой. В образце 5 (1100 °С) присутствуют две фазы: $\alpha-Al_2O_3$ и $\delta-Al_2O_3$. При последующем повышении температуры отжига в синтезированных образцах 6 и 7 АОА обнаружена только α -фаза (см. таблицу). Таким образом, при повышении температуры отжига регистрируется качественное изменение фазового состава мембран АОА в следующем порядке: аморфный $\rightarrow Al_2O_3$ (кубический) $\rightarrow \delta-Al_2O_3 \rightarrow \alpha-Al_2O_3$. Для определения количественного соотношения между фазами требуется использование дополнительных методик рентгеновской спектроскопии.

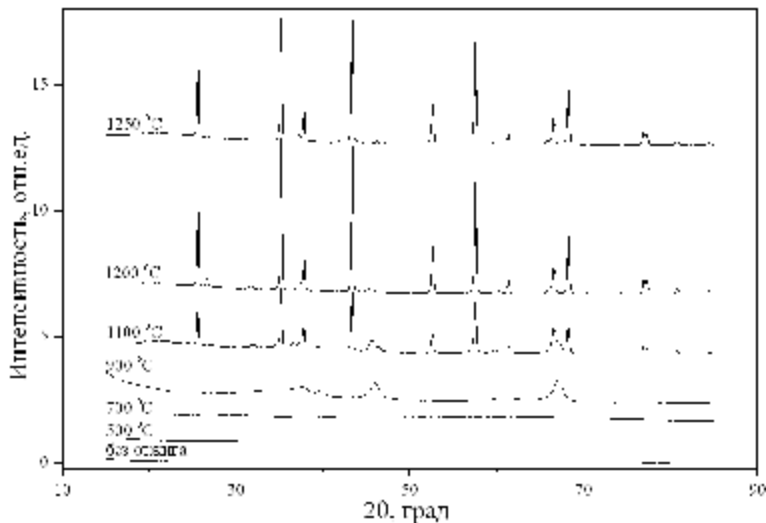


Рис. 1. Рентгенограммы для образцов АОА после отжига при различных температурах

Изменение кристаллической структуры АОА для различных температур отжига

№ обр.	Температура отжига, °С	Состояние АОА
1	–	рентгеноаморфный
2	500	рентгеноаморфный
3	700	рентгеноаморфный
4	900	Al ₂ O ₃ (кубический)
5	1100	α-Al ₂ O ₃ и δ-Al ₂ O ₃
6	1200	α-Al ₂ O ₃
7	1250	α-Al ₂ O ₃

На рис. 2 представлены измеренные спектры КЛ для всех синтезированных образцов. Видно, для АОА с аморфной и кристаллизовавшейся структурой наблюдается существенное различие полученных зависимостей по форме и положению полос свечения. Для образца 1 наблюдается широкая полоса в области 2...3 эВ и узкий пик 1,78 эВ. Для образцов 2 и 3 в той же области можно выделить два пика: 2,1 и 2,65 эВ. Для 4-го образца имеет место широкий пик в области 2,4 эВ и слабый пик 1,78 эВ. В КЛ спектрах образцов 5–7 наряду со слабым свечением 2,3...2,5 эВ наблюдаются интенсивные пики 1,78 и 1,82 эВ.

Известно, что люминесцирующими центрами в неотожженных слоях АОА являются кислородные вакансии (F-, F⁺-, F₂-центры и т. д.) и примесные комплексы, попавшие в оксидный слой в ходе электрохимического окисления [7–9]. В зависимости от соотношения этих дефектов может происходить как синее, так и красное смещение эмиссионной полосы с доминированием тех или иных пиков, что и наблюдается для образцов 1–3. Отметим, что при формировании в АОА кри-

сталлической структуры (образцы 4–7) начинает доминировать примесная люминесценция в области 1,78 и 1,82 эВ, связанная с ионами Cr^{3+} и Mn^{4+} [10], соответственно. Указанные примеси присутствуют в исходной алюминиевой фольге.

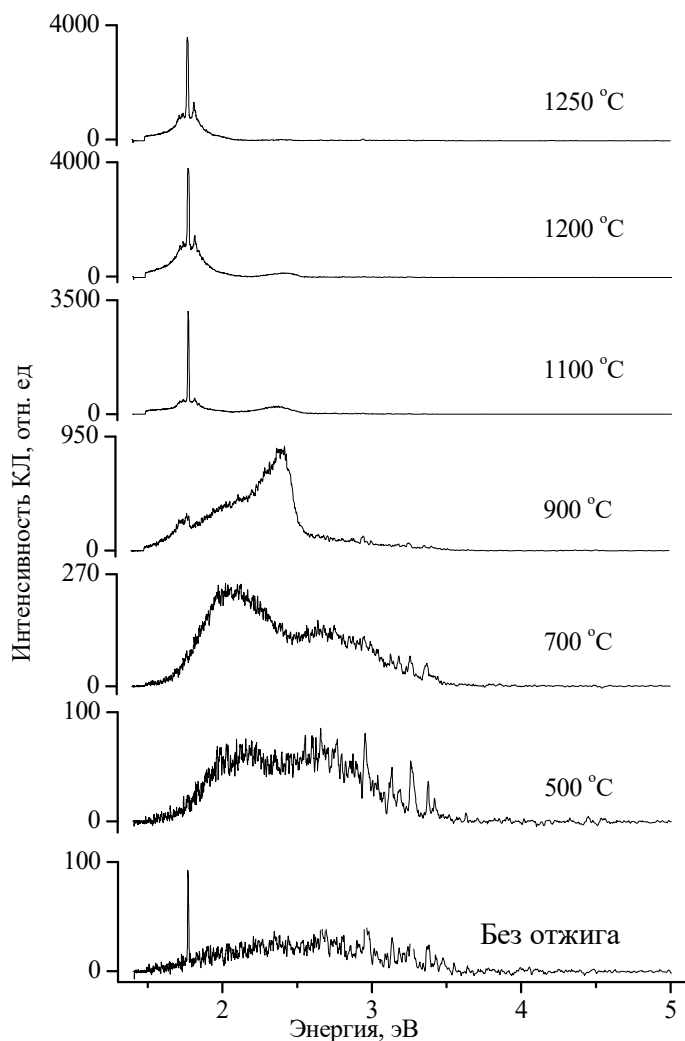


Рис. 2. Спектры КЛ для образцов АОА после отжига при различных температурах

Заключение

В настоящей работе выполнено исследование нанопористых структур АОА, полученных двойным анодированием в щавелевой кислоте, методами рентгенофазового и катодолюминесцентного анализа. Установлено, что изменения люминесцентных свойств зависят от изменений фазового состава вследствие варьирования условий отжига синтезированных оксидных структур. Проанализированные эксперимен-

тальные данные позволяют утверждать, что в нанопористом АОА с рентгено-аморфной структурой преобладает люминесценция в области 2,1...2,65 эВ, обусловленная кислородными вакансиями (F-, F⁺-, F₂-центры и т. д.). При кристаллизации оксида до α-Al₂O₃ при 1100 °С и выше доминирует примесная люминесценция в красной области, связанная с ионами Cr³⁺ (1,78 эВ) и Mn⁴⁺ (1,82 эВ).

Литература

1. *Jani et al.* Nanoporous anodic aluminium oxide: Advances in surface engineering and emerging applications / Progress In Material Sciences. 2013. № 8. P. 636–704.
2. *Huczko A.* Template-based synthesis of nanomaterials / Appl. Phys. A. 2000. № 70. P. 365–376.
3. *Mukhurov N. I. et al.* Influence of electrolyte composition on photoluminescent properties of anodic aluminum oxide / Journal of Applied Spectroscopy. Vol. 75. No. 2. 2008. P. 214–218.
4. ГОСТ 618-73. Фольга алюминиевая для технических целей. Технические условия. М., 2002. 10 с.
5. *Kirchner et al.* Structural characterisation of heat-treated anodic alumina membranes prepared using a simplified fabrication process / Journal of Membrane Science. 2007. № 287. P. 264–270.
6. *Yuan et al.* Mechanism of one-step voltage pulse detachment of porous anodic alumina membranes / Electrochimica Acta. 2006. № 51. P. 4589–4595.
7. *Ning X., Kai-di M., Qian W.* The photoluminescence and thermoluminescence properties of nanoporous alumina films which processed in different annealing conditions / Eighth International Conference on Thin Film Physics and Applications // Proc. of SPIE. 2013. Vol. 9068. P. 906811-1–12.
8. *Gao T., Meng G., Zhang L.* Blue luminescence in porous anodic alumina films: the role of the oxalic impurities / J. Phys.: Condens. Matter. 2003. № 15. P. 2071–2079.
9. *Мухуров Н. И.* Фотолюминесценция F-центров в пленках анодного оксида алюминия // Журнал прикладной спектроскопии. 2010. Т. 77. № 4. С. 591–595.
10. *Гасенкова И. В., Мухуров Н. И., Жвавый С. П.* Фотолюминесценция анодного оксида алюминия в α-фазе / Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы: сб. докл. междунар. симп. (Минск, 10–12 апр. 2013 г.). В 2 ч. Ч. 2 // Минск: Беларуская навука., 2013. С. 225–229.

С. А. Исмоилов

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Метод компьютерной томографии (КТ) оказался весьма востребованным, т. к. он позволяет исследовать органы, их функции и получать важные диагностические сведения для принятия правильных решений в установлении диагноза и последующем лечении. С тех пор значительно изменились технологии, которые стали позволять выполнять более высокоточные аппараты для исследования. Но главной особенностью метода является использование ионизирующего излучения, которое как мы знаем является очень опасным для живых организмов. Особо опасно для студентов и исследователей, которые хотят работать с компьютерной томографией. Чтобы получить базовое знание по компьютерной томографии и безопасно работать с ней, для начала надо работать с лабораторным стендом, который безопасен и безвреден.

Ключевые слова: *изучение принципа рентгеновской КТ, полупроводниковый лазер, радиальный измеритель освещенности, шаговый двигатель.*

Modern CT scanner is a complex system consisting of many components, the maintenance of which requires specialist who is knowledgeable in the technical component of the device and the biological effects of this method of research on the living organism. For training with the skills necessary for teaching special courses and laboratory stands, giving an idea of the principle of operation of such sophisticated diagnostic devices. Thus we made a detailed analysis of X-ray CT, chose prototype for the development of the laboratory stand. Was created block diagram of the laboratory stand, created a 3D model in a specialized software package and developed a system of rotation of the sample and recording the emission of radiation. Finally, we produced prototype of laboratory stand by which students can work and learn how to work with computed tomography in practice.

Keywords: *study of the principle of X-ray CT, a semiconductor laser radial light meter, the stepper motor.*

Компьютерная томография оказалась очень популярной, т. к. она позволяет исследовать органы, их функции и получать важную диагностическую информацию для принятия правильных решений в диагностике и последующем лечении. С тех пор технология значительно изменилась, появились устройства для исследования высокой точности. Но главной особенностью метода является использование ионизирующего излучения, которое, как мы знаем, является очень опасным для живых организмов и особенно опасно для студентов и исследователей, которые хотят работать с компьютерной томографией. Чтобы получить базовые знания компьютерной томографии и безопасно работать с ней, во-первых, мы должны научиться работать с лабораторным стендом, который является безопасным и безвредным.

Методы

В КТ, исследуемый объект неподвижен, а система трубка — детекторы вращается вокруг него. Вращение системы трубка — детекторы — очень сложная задача, для решения которой следует применить множество инженерных решений. Разработать и рамку, на которой будут закреплены система излучения и система регистрации излучения. После чего ее надо сбалансировать. Разработать систему приема-передачи питания и данных, т. к. передача питания и данных по проводам ограничивает вращение системы.

Эти проблемы были решены путем вращения стола с исследуемым объектом, а не системы трубка — детекторы. Система излучения, как и система вращения излучателя и приемника, также подверглась значительному изменению. В качестве сканирующего излучения применено излучение полупроводникового лазера. Это было сделано, во-первых, из соображений безопасности, лазерное излучение много безопаснее рентгеновского, во-вторых, для лазера не требуется высоковольтной схемы питания, в отличие от рентгеновской трубки, и в-третьих, стоимость лазера во много раз меньше стоимости рентгеновской трубки.

Система излучения также подверглась значительному изменению. Возникла задача регистрации видимого диапазона излучения с длинами волн от 600 до 800 нм. Для решения этой задачи был переделан ранее разработанный кафедрой ФМПК и ЭФ радиальный измеритель освещенности. Несмотря на большое число изменений в конструкции, принцип работы лабораторного стенда остался таким же, как и у КТ, — регистрация излучения, прошедшего через исследуемый объект. Разница заключается в том, что в рентгеновской КТ при обработке полученных данных вклад рассеянного излучения в общую картину построения изображения очень мал и практически не учитывается, в отличие от обработки оптического излучения, где отраженным излучением нельзя пренебречь.

Системные требования поворота образца

Основное требование — доступность элементов, из которых будет собрана система вращения. Немаловажным параметром была точность позиционирования, т. к. двигатель должен не просто вращать стол с объектом, а поворачивать его на определенное количество градусов для проведения исследования объекта. Под эти параметры очень хорошо подходит шаговый двигатель.

Система излучения

Система излучения реализована в виде излучения полупроводникового лазера мощностью $W = 5$ мВт, потребляемым током $I = 40$ мА (рис. 1).

После замены рентгеновское излучения на излучение полупроводникового лазера произошло наложение некоторых особых требований к исследуемому образцу и системе регистрации излучения. Образец для исследования должен быть оптически прозрачен для красного диапазона длин волн 620...760 нм. Система регистрации излучения должна быть также восприимчива к диапазону 600...800 нм.



Рис. 1. Полупроводниковый лазер

Выбор был основан на его низкой стоимости, малой мощности и относительной безопасности: низкая энергия излучения не погубит биологическую ткань. В компьютерных томографах 3-го поколения сканирующий луч имеет веерообразную форму. Для преобразования точечного пучка лазера, применили систему отклонения на основе зеркала с закрепленным сзади постоянный магнитом и катушкой индуктивности на некотором расстоянии от системы зеркальце-магнит (рис. 2). При изменении полярности подаваемых сигналов на катушку меняется направление линий магнитной индукции. При одинаковой полярности постоянно-го магнита и поля катушки индуктивности происходит отклонение системы магнит-зеркальце.

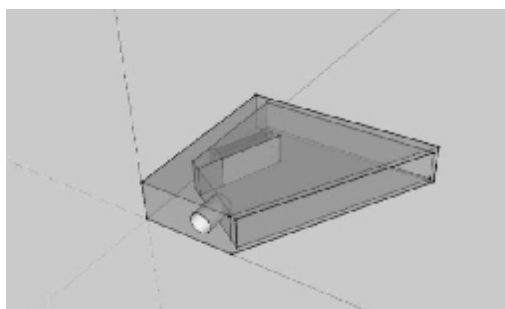


Рис. 2. Система отклонения лазерного луча

Для системы обнаружения основой излучения была использована программа, разработанная кафедрой экспериментальной физики — радиальный измеритель освещенности (РИО). В схему эксперимента были добавлены некоторые изменения, такие как выбор фотоэлектрических элементов, которые получают излучение в требуемом динамическом диапазоне длин волн: изменение геометрической формы обнаружения излучения дуги экспериментально было установлено правильное усиление сигнала съемки и изменить обработку данных программы. Блок фотодиодов представляет собой рамку в виде трети окружности, на которой от 0 до 120° через каждые 11° размещены 11 фотодиодов. В качестве прототипа системы излучения, была взята система излучения рентгеновского КТ 3-го поколения. В 3-м поколении рентгеновского КТ, сканирующий луч имеет веерообразную форму. С учетом внесенных изменений в КТ 3-го поколения, рентгеновская трубка была заменена на полупроводниковый лазер. После замены рентгеновской трубки для полупроводникового лазера, встал вопрос о структуре и форме образцов. Образцы должны быть оптически прозрачным для длин волн от 600 до 800 нм.

Первоначально планировалось произвести образцы из оргстекла с отверстиями, испуская неоднородность объекта

Следующим этапом стал монтаж внутри корпуса лабораторного стенда, распаянных ранее плат драйвера шагового двигателя, управления зеркальцем и системы регистрации. Далее были врезаны в корпус кнопки управления стендом и подведены клеммы питания установки. После окончания работ по сборке лабораторный стенд выглядит следующим образом (рис. 3):



Рис. 3. Внешний вид собранного лабораторного стенда

Для проверки работоспособности установки была применена программа, написанная ранее, для радиального измерителя освещенности. Впоследствии будет разработана специализированная программа для проектируемой установки.

В нашей работе мы решили следующие задачи: анализ принципа работы рентгеновского КТ, произведен выбор поколения рентгеновского КТ, которое будет взято за основу лабораторного стенда, разработана система вращения испытуемого образца, разработана система излучения и разработана система для обнаружения излучения. Решение этих проблем позволило разработать и создать модель лабораторного стенда. Перспективы данной разработки очень большие, т. к. данный стенд позволяет наглядно ознакомиться с методом КТ не только студентам технической специальности, но и студентам медицинского института, которые впоследствии будут работать с настоящими рентгеновскими КТ.

Литература

1. Розенитраух Л. С. Невидимое стало зримым: успехи и проблемы лучевой диагностики. М.: Знание, 1987. 64 с.
2. Огородников И. Н. Микропроцессорная техника: учеб. Изд. 2-е, перераб. и доп. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 380 с.
3. Коновалов А. Н., Корниенко В. Н. Компьютерная томография в нейрохирургической клинике. М.: Медицина, 1988. 346 с.
4. Официальный сайт «Степмотор»: <http://stepmotor.ru/>.

В. В. Карпов, Д. В. Кудряшов, И. Б. Половов, О. И. Ребрин

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ В ХЛОРАЛЮМИНАТНЫХ РАСПЛАВАХ

Невысокие температуры плавления и низкая стоимость исходных веществ бинарных смесей $KCl-AlCl_3$ обуславливают привлекательность их использования в качестве теплоносителя второго контура жидкосолевых ядерно-энергетических установок. Однако внедрение новых ядерных технологий сдерживает отсутствие информации о физико-химических свойствах хлоридов d-элементов в хлоралюминатных расплавах. В настоящей работе были изучены электрохимические свойства $MoCl_3$, $NiCl_2$ и $FeCl_3$ в расплаве $KCl-AlCl_3$ при температуре 350 °С. Показано, что метод циклической вольтамперометрии может быть использован для оценки содержания продуктов коррозии конструкционных сталей и сплавов в расплаве.

Ключевые слова: *хлоралюминатный расплав, хлорид никеля; хлорид молибдена, хлорид железа; конструкционные материалы, циклическая вольтамперометрия.*

Chloroaluminate melts are prospective media for the second loop of molten salt nuclear fast reactor. However the application of chloroaluminates in such technologies is limited by the problem of absences of information on the physico-chemical properties of typical fission products in such media. In the present study the electrochemical properties of $MoCl_3$, $NiCl_2$ and $FeCl_3$ in melts $KCl-AlCl_3$ at 350 °C were studied. It was also shown that cyclic voltammogrammetry can be used for estimation of corrosion products content of structural steels and alloys in the melt.

Keywords: *chloroaluminate melt, nickel chloride, molybdenum chloride, iron chloride, construction materials, cyclic voltammetry.*

В процессе эксплуатации жидкосолевого реактора конструкционные материалы будут подвергаться эрозии, фронтальной и межкристаллитной коррозии, в результате чего продукты растворения сталей и сплавов накапливаются в электролите. Увеличение содержания в жидкой фазе солей переходных металлов в свою очередь интенсифицирует процесс коррозии, что указывает на необходимость осуществления контроля за их концентрацией в рабочем электролите. Контроль изменения содержания примесных компонентов позволит оценить качество электролита, эффективность мер по его очистке и интенсивность процесса коррозии конструкционных материалов.

Целью настоящей работы являлось исследование электрохимического поведения переходных металлов (никеля, молибдена и железа) в расплавах на основе $KCl-AlCl_3$, являющихся основными компонентами большинства конструкционных сталей и сплавов.

Несмотря на большое количество работ по изучению электрохимических свойств металлов в хлоридных расплавах, имеющиеся в литературе сведения о поведении хлористых соединений переходных элементов в хлоралюминатных расплавах весьма ограничены.

Несомненный интерес представляют возможности, открывшиеся в последние годы и связанные с применением современных способов электрохимического анализа, в частности квадратноволновой вольтамперометрии, циклической вольтамперометрии (ЦВА), хронопотенциометрии и т. д. с целью определения состава и концентрации компонентов в плаве. Так электрохимическое поведение никеля было рассмотрено де Фремонтом с соавторами [1], которые определили значение потенциала полуволны для Ni^{2+} на уровне $E_{1/2} = +0,83$ В относительно алюминиевого электрода сравнения (АлЭС) в расплавленной соли $\text{AlCl}_3\text{-NaCl-KCl}$ с соотношением основных компонентов 60:26:14 мол. % при температуре 140°C . Также поведение никеля в хлоралюминатном расплаве NaAlCl_4 (рис. 1) изучали Жильберт и Остерянг [2]. Катодная волна, проявляющаяся около 1,2 В (кривая А) относительно алюминиевого электрода сравнения, соответствует восстановлению Ni^{2+} до металлического Ni, причем высота полученного пика пропорциональна концентрации Ni^{2+} в расплаве.

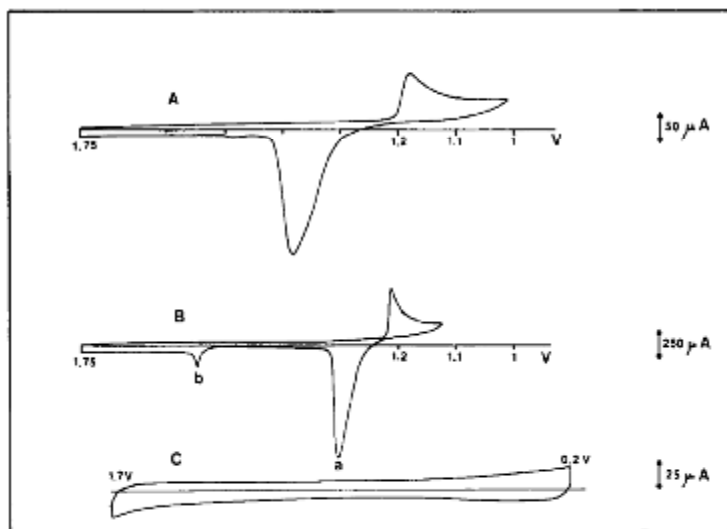


Рис. 1. ЦВА расплава ($p\text{Cl}^- = 5,8$), содержащего Ni^{2+} при температуре 175°C . Скорость развертки 100 мВ/сек. Концентрация Ni^{2+} , моль/кг: А — $1,215 \cdot 10^{-3}$, В — $7,3 \cdot 10^{-3}$, С — 0.

Электрохимическое поведение систем Fe/Fe^{2+} и $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в эквимольном расплаве $\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$ было исследовано, при помощи методов потенциометрии, хроноамперометрии, а также с помощью ЦВА [3]. При снятии циклических вольтамперограмм волна пары $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ появлялась при потенциале $E = 1,4$ В и была признана

обратимой во времени, а волна Fe^{2+}/Fe при потенциале $E = 0,62 \text{ В}$ соответствовала типичному осаждению металла на электроде.

Из-за отсутствия данных по поведению молибдена в неорганических средах нами были сопоставлены данные по исследованию его электрохимических свойств в органических расплавах $\text{AlCl}_3\text{-BPC}$ и $\text{AlCl}_3\text{-MEIC}$ [4]. В ходе изучения данных систем авторы приходят к выводу, что при добавлении в расплав нестабильного пентахлорида молибдена MoCl_5 устанавливается окислительно-восстановительный процесс, соответствующий паре $[\text{MoCl}_6]^{2-}/[\text{MoCl}_6]^{3-}$ (рис. 2). Анализ циклических вольтамперограмм указывает на наличие единственного ОВ-процесса при потенциале $0,138 \pm 0,003 \text{ В}$ относительно АлЭС, что подтверждает возможность определения молибдена методом ЦВА в хлоралюминатном электролите.

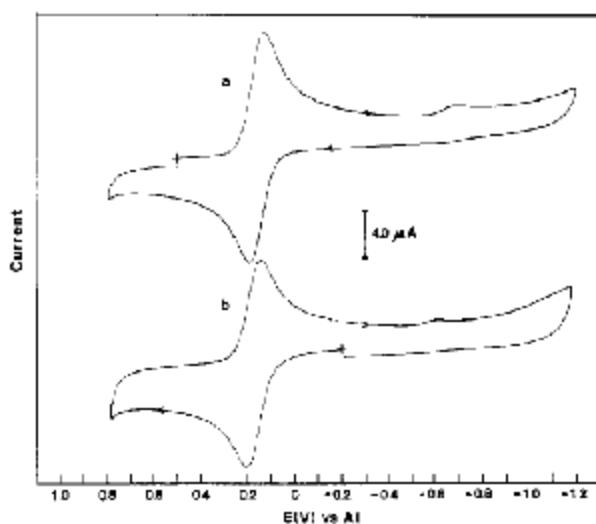


Рис. 2. ЦВА расплава $\text{AlCl}_3\text{-MEIC}$ (44,4/55,6 мол. %) при температуре 40°C .
Скорость развертки 50 мВ/сек. Концентрация MoCl_5 : а — 10^{-3} M , б — $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ M}$

Методика выполнения экспериментов

Все измерения проводили в кварцевой электрохимической ячейке (рис. 3) относительно АлЭС с использованием вольфрамового рабочего электрода в атмосфере высокочистого аргона.

В работе использовали электролиты на основе хлоралюмината калия, приготовленные смешением высокочистых хлоридов калия (марка «ХЧ», Химреактивснаб), алюминия (марка 99 %, безводный, Acros) и хлорида переходного металла в инертном боксе MBraun Unilab под атмосферой сухого и очищенного аргона. Мольное соотношение хлорида алюминия к хлориду калия варьировали в диапазоне от 0,9 до 1,35. Исходная концентрация добавленных хлоридов переходных металлов в хлоралюминат калия в пересчете на металл варьировалась в интервале от 0,09 до 1 мас. %.

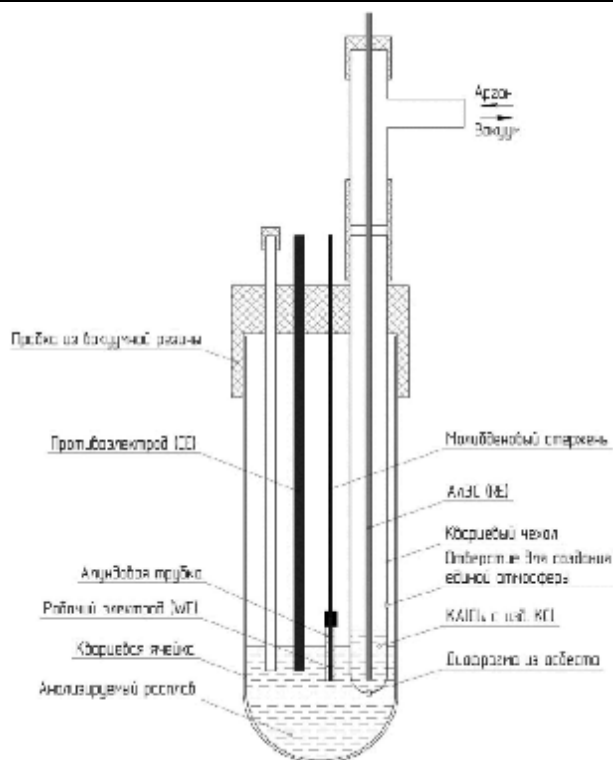


Рис. 3. Эскиз электрохимической ячейки для
вольтамперометрического исследования хлоралюминатных расплавов

Хлорид железа получали прямым хлорированием технически чистого железа (Alfa Aesar, 99,95 %) газообразным хлором. Безводный хлорид никеля готовили путем сушки его шестиводного кристаллогидрата (марка «ХЧ») под вакуумом при температуре 250...300 °С в течение 6 часов. Для предотвращения попадания влаги в гигроскопичные хлориды железа и никеля их обезвоженные образцы после получения хранили в перчаточном инертном боксе MBraun Unilab.

Для получения молибденсодержащих хлоралюминатных расплавов в электролит $KCl-AlCl_3$ вводили ионы молибдена (взятого в виде хлормолибдата калия K_2MoCl_6 , марка «ХЧ»).

Все электрохимические исследования проводятся с помощью потенциостата / гальваностата Autolab PGStat 302N, сопряженного с персональным компьютером. Управление потенциостатом, съемку и обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы GPES 4.9. Обработку вольтамперных зависимостей проводили в программе Microsoft Office Excel.

По окончании каждого эксперимента осуществляли пробоотбор расплава с последующим определением в полученных пробах содержания алюминия, калия и переходных металлов методом атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Optima 2100 DV (Perkin Elmer).

Результаты и их обсуждение

В ходе работы установлено, что в кислых расплавах ($\text{KCl}:\text{AlCl}_3 \leq 1$) содержащих хлорид никеля на анодной части циклических вольтамперограмм проявляются пики восстановления ионов AlCl_4^- , Al_2Cl_7^- и Ni^{2+} при потенциалах 0; 1,3 и 1,9 В соответственно (рис. 4). На катодных ветвях вольтамперограмм зафиксированы четкие перегибы, относящиеся к соответствующим реакциям электроокисления.

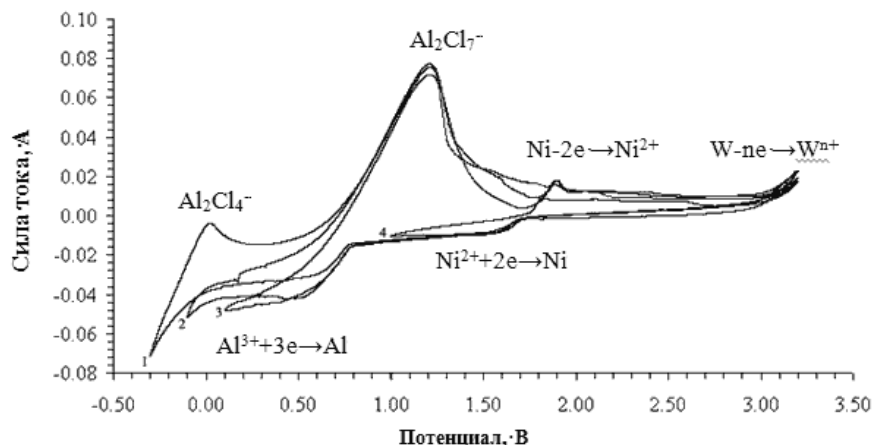


Рис. 4. ЦВА расплава $\text{KCl}-\text{AlCl}_3-\text{NiCl}_2$. Скорость развертки 200 мВ/сек.

Соотношение $\text{KCl}/\text{AlCl}_3 = 0,80 \pm 0,03$. Содержание никеля 0,33 мас. %:

1–4 — кривые, снятые в интервалах: $-0,3...3,2$; $-0,1...3,2$; $0,1...3,2$; $1,0...3,2$ В, соответственно

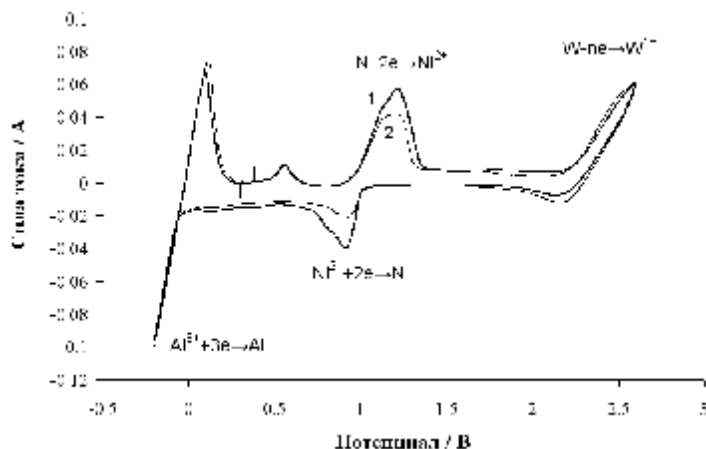


Рис. 5. ЦВА расплава $\text{KCl}-\text{AlCl}_3-\text{NiCl}_2$. Скорость развертки 200 мВ/сек. Соотношение $\text{KCl}/\text{AlCl}_3 = 1,12 \pm 0,03$. Содержание никеля, мас. %: 1 — 0,40, 2 — 0,21

Увеличение количества хлорида калия свыше стехиометрического приводит к резкому снижению потенциалов восстановления ионов никеля, находящихся в расплаве, а также окислению образующегося на катоде металла (рис. 5). Вероятно, что при избытке хлорид-ионов никель переходит в устойчивый комплекс NiCl_4^{2-} .

Однако стоит отметить, что при повышении содержания хлорида никеля в электролите высота пика увеличивалась. При этом анодный пик, соответствующий растворению вольфрама, сдвигается в область отрицательных потенциалов на 600 мВ. Максимум на циклических вольтамперограммах, соответствующий ионной форме Al_2Cl_7^- , практически исчезает по причине протекания реакции: $\text{Al}_2\text{Cl}_7^- + \text{Cl}^- \leftrightarrow 2\text{AlCl}_4^-$.

В виду того, что растворимость большинства хлоридов d-элементов в богатых по хлориду калия электролитах заметно выше [5], чем в расплавах с молярным отношением $\text{K}:\text{Al} < 1$, то для дальнейших исследований были выбраны композиции с избытком по KCl .

При изучении системы $\text{KCl}-\text{AlCl}_3-\text{FeCl}_n$ были получены типичные вольтамперограммы (рис. 6), на которых можно выделить четкие волны перезаряда $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ при 1,5...1,6 В и $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ при 1,7...1,8 В, разряда ионов железа (II) при 0,4...0,6 В, а также анодного растворения осажденного металла при 0,75...0,95 В. При этом интенсивность пиков на циклических вольтамперограммах, как и в случае с хлоридом никеля, напрямую зависит от концентрации железа в хлоралюминатном электролите.

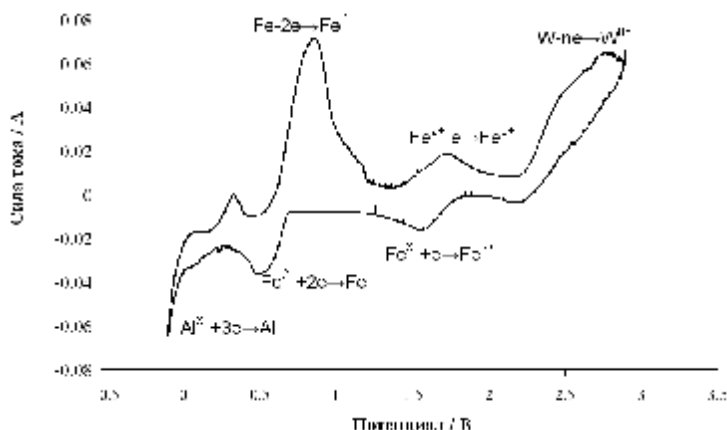


Рис. 6. ЦВА расплава $\text{KCl}-\text{AlCl}_3-\text{FeCl}_n$. Скорость развертки 200 мВ/сек.

Соотношение $\text{KCl}/\text{AlCl}_3 = 1,05$. Содержание железа 1,12 мас. %

На циклических вольтамперограммах в электролите $\text{KCl}-\text{AlCl}_3-\text{MoCl}_3$ (рис. 7) выявлены волны осаждения и растворения молибдена в интервалах около 1,4...1,5 В и 1,8...1,9 В соответственно, а также пики, соответствующие перезаряду ионов молибдена $\text{Mo}^{4+}/\text{Mo}^{3+}$ и $\text{Mo}^{3+}/\text{Mo}^{4+}$ в области 2,3...2,6 В относительно АлЭС.

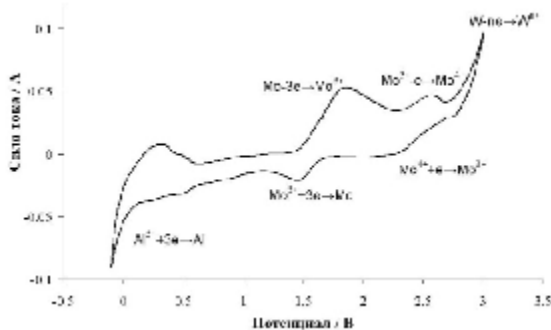


Рис. 7. ЦВА расплава KCl-AlCl₃-MoCl₃. Скорость развертки 200 мВ/сек.
Соотношение KCl/AlCl₃ = 1,09. Содержание молибдена 0,35 мас. %

Выводы

В настоящей работе изучены зависимости электрохимических свойств хлоралюминатных расплавов (вольтамперометрические измерения) от содержания примесей и продуктов коррозии конструкционных материалов (солей железа, никеля и молибдена при концентрациях до 1 мас. %) при температуре $(350 \pm 5)^\circ\text{C}$.

На примере систем KCl-AlCl₃-NiCl₂ показано, что характер электрохимического поведения электролитов изменяется при переходе от основного расплава к кислому, что приводит к смещению потенциалов на 600 мВ.

Определены характеристические потенциалы выделения железа, никеля и молибдена из хлоралюминатных расплавов, а также перерзаряда $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ и $\text{Mo}^{4+} \leftrightarrow \text{Mo}^{3+}$. Показано, что зная характеристические потенциалы выделения и перерзаряда d-элементов и получив их градуировочные зависимости для максимумов на вольтамперных кривых, можно судить о присутствии ионов переходных металлов (никель, железо, молибден) в хлоралюминатном расплаве, а также выработать методику экспресс-анализа состава электролита для оценки их количества.

Литература

1. De Fremont R.M., Rosset R., Leroy M. Polarographie dans leutectique chlorure d'aluminium chlorure de sodium chlorure de potassium fondu // Bulletin de la Société Chimique de France. 1964. № 4. P. 706.
2. Gilbert B., Osteryoung R.A. Electrochemistry of Ni(II) and the Behavior of Oxide Ions in Chloroaluminate Melts // Journal of the American Chemical Society. 1978. Vol. 100(9). P. 2725–2730.
3. Boxall L. G., Jones H.L., Osteryoung R.A. Electrochemical Studies on Ag, Fe and Cu Species in AlCl₃-NaCl Melts // Journal of the Electrochemical Society: Electrochemical Science and Technology. 1974. Vol. 121(2). P. 212–219.
4. Charles L. L. Hussey. Molybdenum Chloro Complexes in Room-Temperature Chloroaluminate Ionic Liquids: Stabilization of [MoCl₆]²⁻ and [MoCl₆]³⁻ // Inorganic Chemistry. 1983. Vol. 22(15). 2099–2100.
5. Karpov V. V., Volkovich V. A., Polovov I. B., Rebrin O. I. Solubility of Transition Metal Halides in Chloroaluminate Melts // ECS Transactions. 2014. Vol. 64(4). P. 211–216.

А. Л. Козловский, Н. Е. Алешова, Т. Ю. Мейримова, Д. И. Шлимас

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА Ni-НАНОТРУБОК

В работе рассмотрено получение упорядоченных массивов на основе никеля методом электрохимического осаждения, исследование структурных особенностей и электрических свойств в зависимости от диаметров пор шаблонных матриц. Анализ хроноамперограмм процесса осаждения показал следующее: с увеличением диаметров пор и соответственно пористости шаблонной матрицы, возрастает время осаждения наноструктур. Рентгенодифрактометрическое исследование показало, что полученные образцы однофазны, обладают ГЦК-структурой с параметром кристаллической решетки, отличающимся от эталонного значения. Увеличение диаметра нанотрубок и соответственно проводящей поверхности привело к снижению сопротивления и увеличению проводимости Ni-нанотрубок.

Ключевые слова: нанотехнологии, нанотрубки, трековые мембраны, магнитные нанотрубки, нанопроволоки.

In the article, ordered nickel arrays were obtained by electrochemical deposition, structural and electrical properties depending on the pore diameter of template matrix were studied. Analysis of the deposition chronoamperograms showed the following: increasing diameter of pores and porosity of the template matrix lead to increasing time of nanostructures deposition. X-ray diffraction studies showed that the samples are mono-phase with FCC structure and the crystal lattice parameter different from the reference value. Increasing the diameter of nanotubes and surface conductivity lead to decreasing resistance and the conductivity of Ni-nanotubes was increased.

Keywords: nanotechnology, nanotubes, track membranes, magnetic nanotubes, nanowires

В последние годы растет интерес к упорядоченным искусственным магнитным наноструктурам, обусловленный не только желанием понять фундаментальные свойства этих материалов, но и разнообразие их возможных применений. Такие приложения варьируются от магнитной записи до датчиков и биомagnetизма. Наноразмерные магнитные массивы также являются привлекательными для хранения информации со сверхвысокой плотностью записи информации. Плотность обычной продольной магнитной записи, как правило, меньше, чем 50 Гбит/дюйм², а также ограничена термической нестабильностью. Массивы магнитных наноструктур имеют потенциал для проведения записи до 100 раз больше, чем на существующие запоминающие устройства.

Другим полем чрезвычайно перспективных применений является биомagnetизм: манипулируя магнитными нанопроволоками с помощью магнитных взаимодействий, можно проводить различные исследования. Спектр применения в биомagnetизме включает в себя разделение клеток, биозондирование, а также целый

ряд других терапевтических применений. Наноструктуры также применяются для доставки лекарственных препаратов и генной терапии. Датчики на основе наноструктур имеют лучшее разрешение и чувствительность, высокую эффективность улавливания и быстрое время отклика из-за их большой поверхности для адсорбции и малого времени диффузии. Среди различных исследованных материалов наноструктуры на основе Ni являются привлекательными из-за их превосходных магнитных свойств, высокого уровня намагниченности [1–11].

Одномерные наноструктуры могут быть получены с помощью различных методов, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия, нанолитография и электрохимическое осаждение. Электрохимическое осаждение металлов в порах наноразмерных шаблонов является особенно привлекательным потому, что это простой и дешевый способ изготовления больших массивов нанопроволок с монодисперсными диаметрами и длиной. Данный метод обеспечивает возможность адаптировать размер, длину, форму и морфологию материала путем регулирования морфологии шаблона и параметров синтеза, что в свою очередь дает возможность точно определить структуру и магнитные свойства полученных наноструктур. Такие свойства могут потенциально привести к повышению производительности в биоманитных приложениях.

В данной работе рассмотрено получение упорядоченных массивов на основе никеля методом электрохимического осаждения, исследование структурных особенностей и электрических свойств в зависимости от диаметров пор шаблонных матриц.

Экспериментальная часть

Электрохимическое осаждение из растворов электролита проводилось с использованием трековых мембран на основе полиэтилентерефталата типа Hostaphan® производства фирмы «Mitsubishi Polyester Film» (Германия) с плотностью пор $4,0 \text{ E} + 0,7$, толщиной 12 мкм и диапазоном диаметров от 180 до 380 нм. Облучение ПЭТФ пленки производилось на ускорителе DC-60, ионами криптона с энергией 1,75 МэВ/нуклон. Электроосаждение в треки мембраны проводилось при напряжении 1,5 В в потенциостатическом режиме. Раствор электролита: $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (100,14 г/л), H_3BO_3 (45 г/л), $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (1,5 г/л).

Осуществление контроля в ходе процесса осаждения происходило при помощи мультиметра «Agilent 34410A» методом хроноамперометрии. Исследование структуры и размерности полученных нанотрубок проводилось с использованием растрового электронного микроскопа «Hitachi TM3030» с системой микроанализа «Bruker XFlash MIN SVE» при ускоряющем напряжении 15 кВ. После удаления полимерного шаблона проводили структурный анализ на просвечивающем электронном микроскопе JEM-100 с ускоряющим напряжением 100 кВ.

Рентгенодифрактометрические исследования проведены на дифрактометре D8 ADVANCE с использованием излучения рентгеновской трубки с Cu-анодом

и графитового монохроматора на дифрагированном пучке. Режим работы трубки: 40 кВ, 40 мА. Дифрактограммы записывались в диапазоне углов $20...100^\circ 2\theta$, шаг $0,02^\circ 2\theta$. Съемка велась с накоплением, т. е. время измерения в каждой точке > 1 с.

Для измерения вольтамперных характеристик использовался источник тока НР 66312А и амперметр Agilent 34401А.

Результаты и обсуждение

Для определения зависимости структурных особенностей от диаметров пор была выбрана шаблонная матрица на основе полиэтилентерефталата с плотностью пор $4,0 \text{ E} + 0,7$ пор/см², толщиной 12 мкм. После облучения шаблонные матрицы были подвержены двухстороннему химическому травлению в растворе 2 М NaOH при температуре $85,0 \pm 0,1^\circ \text{C}$ и последующей обработке в растворах нейтрализации: 1,0 % раствор уксусной кислоты и деионизированной воды. На рис. 1 показан график изменения диаметра пор в зависимости от времени травления.

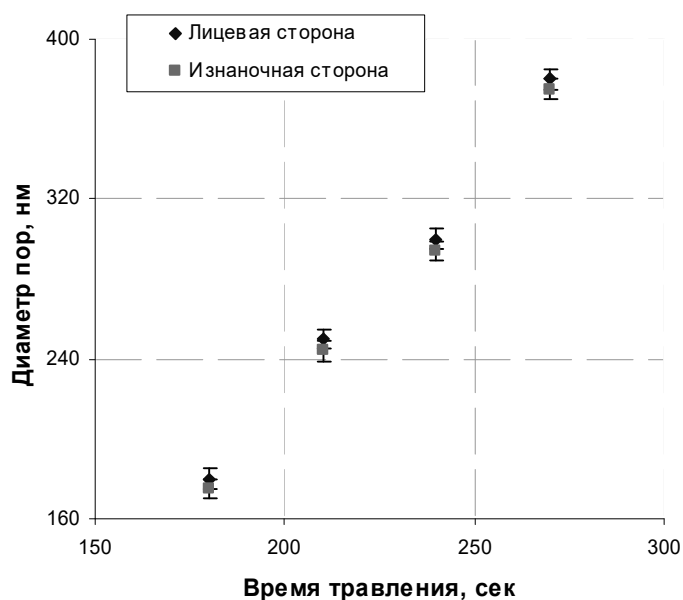


Рис. 1. Изменение диаметра пор по данным РЭМ в зависимости от продолжительности травления.

Для определения зависимости изменения скорости осаждения нанотрубок от диаметра пор в шаблонной матрице электрохимическое осаждение проводилось при напряжении 1,5 В. На рис. 2 представлены хроноамперограммы процесса осаждения.

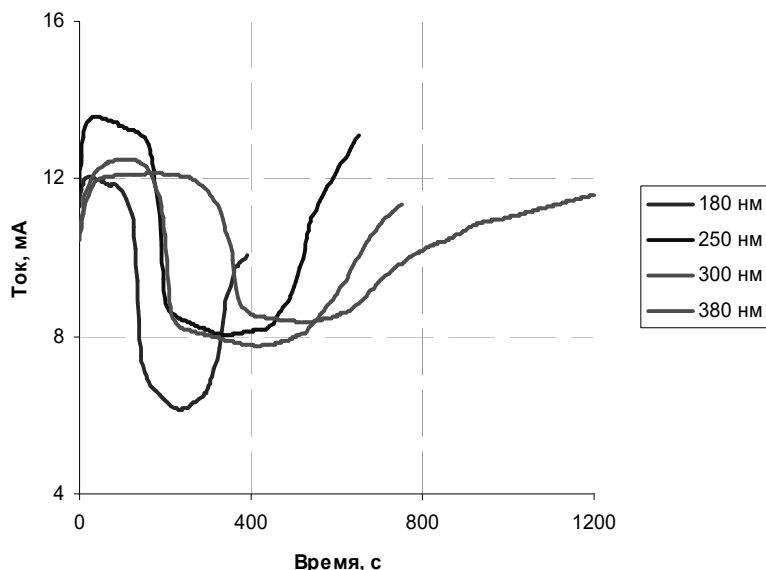


Рис. 2. Хроноамперограммы процесса осаждения нанотрубок с различными диаметрами пор шаблонных матриц

Анализ хроноамперограмм процесса осаждения показал следующее: с увеличением диаметров пор и соответственно пористости шаблонной матрицы (процентное соотношение площади пор к общей площади шаблонной матрицы), возрастает время осаждения наноструктур. Согласно полученным хроноамперограммам, была рассчитана объемная скорость осаждения. Объемная скорость при одинаковом прикладываемом напряжении постоянна и не зависит от увеличения диаметров. Значение константы объемной скорости осаждения позволило контролировать процесс роста наноструктур для заданной пористости шаблонной матрицы.

Анализ РЭМ-снимков полученных нанотрубок, представленных на рис. 3, показал, что высота нанотрубок равна толщине шаблона 12 мкм и диаметры трубок равны диаметрам пор шаблонных матриц.

С использованием метода энергодисперсионного анализа был определен элементный состав исследуемых образцов. Анализ ЭДА спектров, представленных на рис. 4, выявил, что нанотрубки состоят на 99,5 % из никеля, 0,5 % соответствовало примеси золота, которое использовалось в качестве проводящего слоя, напыленного на шаблонную матрицу перед электрохимическим осаждением.

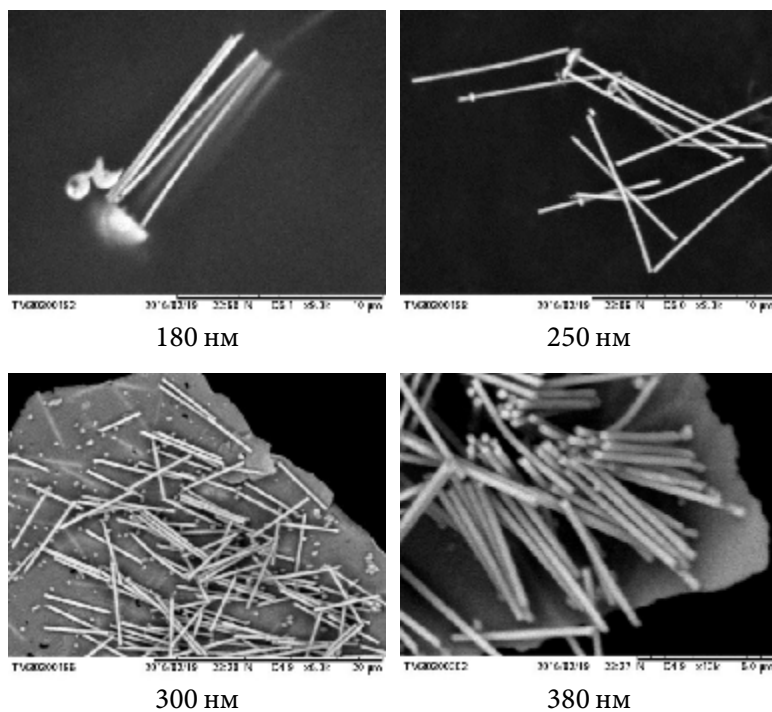


Рис. 3. РЭМ-снимки Ni-нанотрубок

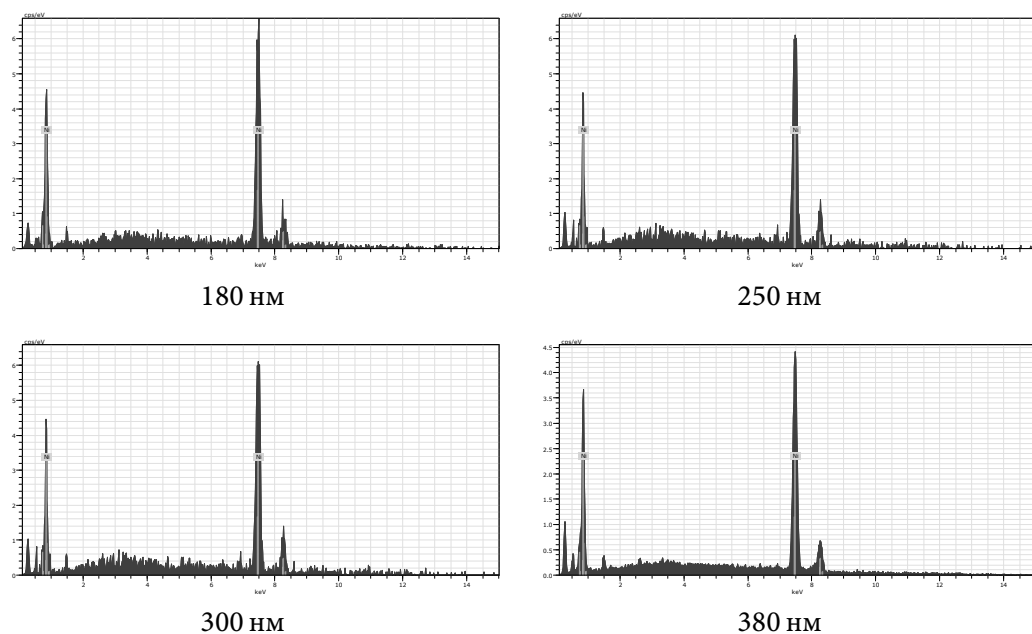


Рис. 4. ЭДА спектры синтезированных Ni-нанотрубок

Также исследование структурных особенностей полученных нанотрубок проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Некоторые ПЭМ-снимки представлены на рис. 5. Как видно из приведенных на рис. 5 микрофотографий, индивидуальные нанотрубки имеют одинаковую размерность по всей длине трубок.

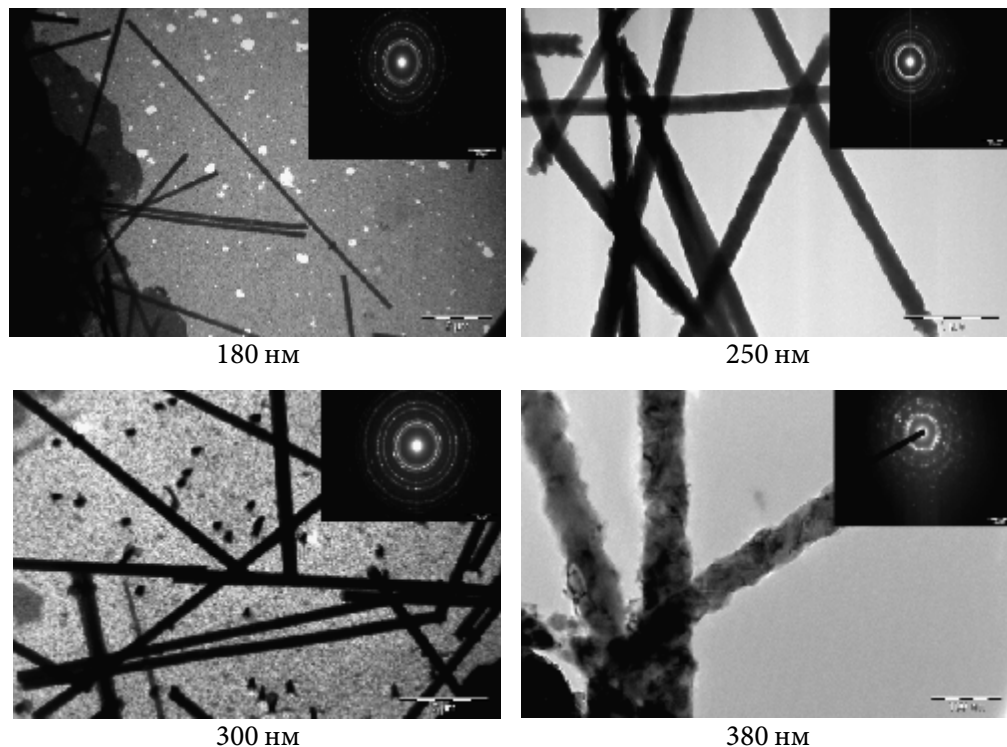


Рис. 5. ПЭМ снимки Ni-нанотрубок

Для выявления кристаллической структуры Ni-нанотрубок было проведено рентгенодифрактометрическое исследование. Дифрактограммы снимались в угловом диапазоне $2\theta = 10...100^\circ$ с шагом $0,03^\circ$ и с накоплением в течение 9 секунд на точку. Рентгенодифрактометрические исследования показали, что полученные образцы однофазны, обладают ГЦК-структурой с параметром кристаллической решетки, отличающимся от эталонного значения. На рис. 6а представлена рентгеновская дифрактограмма исследуемых образцов. Анализ полученных дифрактограмм показал, что с увеличением диаметра нанотрубок возрастает интенсивность второго пика ($\approx 52^\circ$), что привело к увеличению параметра кристаллической решетки. Изменение величины параметра кристаллической решетки a в зависимости от диаметра нанотрубок приведено на рис. 6б.

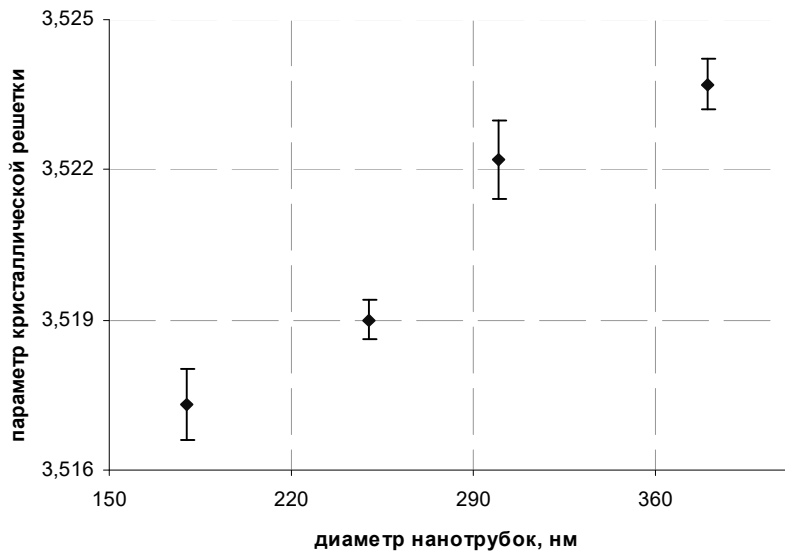
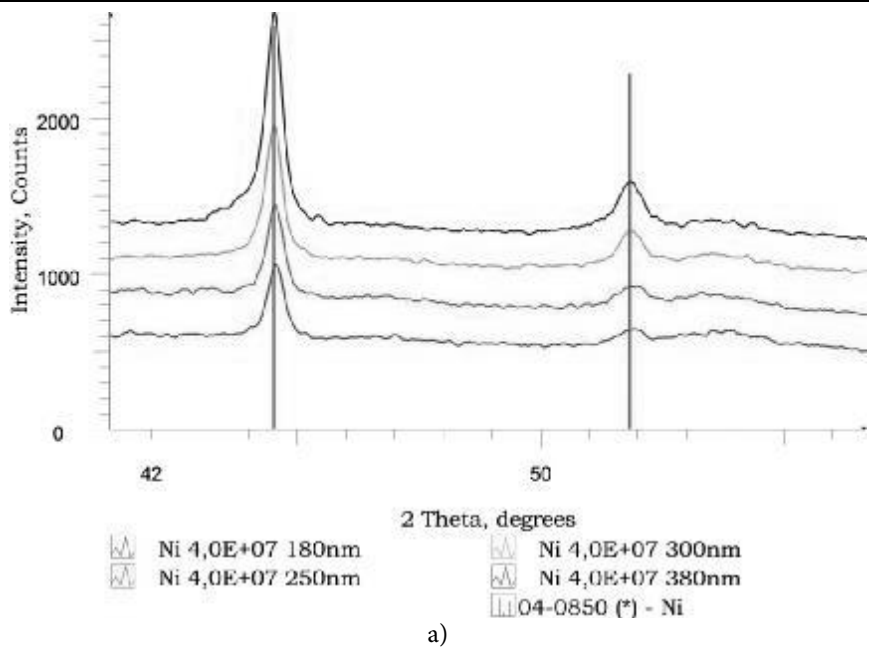


Рис. 6. а) — дифрактограмма Ni-нанотрубок; б) — график зависимости изменения параметра кристаллической решетки от диаметра Ni-нанотрубок

В таблице приведены рентгенометрические данные исследуемых образцов, результаты расчетов средних размеров кристаллитов по уравнению Шерера.

Рентгенометрические данные исследуемых образцов, результаты расчетов средних размеров кристаллитов по уравнению Шерера

Диаметр нанотрубок, нм	Параметры ячейки образца	2θ , градусы	FWHM	L, нм
180	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5173 \pm 0,0007) \text{ \AA}$	44,559	0,402	28,97
		51,930	0,654	20,58
		$L_{\text{средн}} = 24,77 \text{ нм}$		
250	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5190 \pm 0,0004) \text{ \AA}$	44,540	0,398	29,25
		52,020	0,719	18,75
		$L_{\text{средн}} = 24,00 \text{ нм}$		
300	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5222 \pm 0,0008) \text{ \AA}$	44,517	0,400	29,09
		51,885	0,581	23,14
		$L_{\text{средн}} = 26,11 \text{ нм}$		
380	Фаза ГЦК-Ni: $a = (3,5237 \pm 0,0005) \text{ \AA}$	44,523	0,402	28,95
		51,861	0,584	23,01
		$L_{\text{средн}} = 25,98 \text{ нм}$		

Форма проводящей электрический ток поверхности важна, т. к. оказывает влияние на свойства дисперсии. В отношении формы возможны многочисленные варианты. Форма проводящих электрический ток частиц может быть, например, игольчатая, цилиндрическая, пластинчатая, трубчатая или шаровидная. Это идеализированные формы частиц, причем фактическая форма, обусловленная изготовлением, более или менее сильно отклоняется от них. В данной работе исследовалась проводящая поверхность в форме массива идентичных полых цилиндров. Результаты изменения сопротивления представлены на рис. 7. Как видно из графика, увеличение диаметра нанотрубок и соответственно проводящей поверхности ведет к снижению сопротивления и увеличению проводимости Ni-нанотрубок.

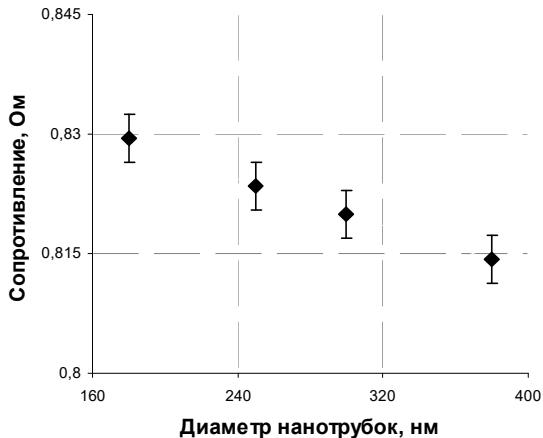


Рис. 7. Зависимость изменения сопротивления от увеличения диаметра Ni-нанотрубок

Заключение

В данной работе рассмотрено получение упорядоченных массивов на основе никеля методом электрохимического осаждения, исследование структурных особенностей и электрических свойств в зависимости от диаметров пор шаблонных матриц. Для изучения характеристик полученных Ni-нанотрубок были использованы методы РЭМ, ПЭМ, ЭДА, РСА. Анализ хроноамперограмм процесса осаждения показал следующее: с увеличением диаметров пор и соответственно пористости шаблонной матрицы возрастает время осаждения наноструктур. Анализ РЭМ- и ПЭМ-снимков полученных нанотрубок показал, что высота нанотрубок равна толщине шаблона 12 мкм и диаметры трубок равны диаметрам пор шаблонных матриц. Анализ ЭДА спектров выявил, что нанотрубки состоят на 99,5 % из никеля, 0,5 % соответствовало примеси золота, которое использовалось в качестве проводящего слоя, напыленного на шаблонную матрицу перед электрохимическим осаждением. Рентгенодифрактометрические исследования показали, что полученные образцы однофазны, обладают ГЦК-структурой с параметром кристаллической решетки, отличающимся от эталонного значения. Увеличение диаметра нанотрубок и соответственно проводящей поверхности ведет к снижению сопротивления и увеличению проводимости Ni-нанотрубок.

Данная работа была выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан, № 45 от 12.02.2015 г.

Литература

1. Hulteen J. C., Martin C. R., Mater J. Chem. V. 7. 1997. P. 1075.
2. Chakarvarti S. K., Vetter J. Radiation Measurements. V. 29. 1998. P. 149–159.
3. Piraux L., Dubous S., Demoustier-Champagne S. Nuclear Instr. Meth. Phys. Res., V. B 131. 1997. P. 357.
4. Fink D., Petrov A. V., Rao V. et al. Rad. Meas. V. 36. 2003. P. 751.
5. Foss C. A., Hornyak G. L., Stockert J. A., Martin C. R. Journal of Physical Chemistry. V. 98. 1994. P. 2963.
6. Martin C. R. Advanced Materials. V. 3. 1991. P. 457.
7. Martin C. R., Parthasarathy R. V., Menon V. Synthetic Metals. V. 55. 1993. P. 1165.
8. Xiang-Zi Li, Xian-Wen Wei, Yin Ye. Materials Letters. V. 63. 2009. P. 578–580.
9. Dionde A., Meier J. P., Doudin B., Anserment J. Ph. Appl. Phys. Letters. 1994. V. 65(23), P. 3019–3021.
10. Sellmyer D. J., Zheng M., Skimski R. Magnetism of Fe, Co and Ni nanowires in self-assembled arrays. // J. of Phys. Condens. Matter V. 13: R433. 2001.
11. Chien C. L. Granular magnetic solids. // J. Appl. Phys. V. 69. 1991. P. 5267.

Д. В. Крышмарь, Д. Л. Ника

ФОНОННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ АМОРФНЫХ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ

В данной работе проведены теоретические исследования по определению состояния квантов колебательного движения атомов в аморфных кремниевых нанонитах. Наблюдается эффект сильного падения фононных групповых скоростей и решеточной теплопроводности в таких наносоединениях, объясняемый размерным квантованием фононного спектра за счет разупорядочения атомных связей, формирующих квазиодномерные наноструктуры. Проведенные исследования показывают перспективу использования аморфных нанонитей в качестве полупроводниковых термоэлектрических элементов для преобразования тепловой энергии в электрическую.

Ключевые слова: квазиодномерные аморфные наноструктуры, модель *Valence Force Field*, фононный транспорт.

In the article the research has been conducted to determine the quantum states of the vibrational motion of atoms in amorphous silicon nanowires. The effect of a strong drop in phonon group velocities and lattice thermal conductivity is observed in such nanocompounds, explained by size quantization of the phonon spectrum due to a disordering of atomic bonds that form quasi-one-dimensional nanostructures. The conducted investigations show the prospect of amorphous nanowires' using as semiconductor thermoelectric cells to convert thermal energy into electrical energy.

Keywords: *quasi-one-dimensional amorphous nanostructures, Valence Force Field model, phonon transport.*

Среди перспективных направлений исследований в современной физике важную роль играет изучение аморфных наноструктур [1–3]. Эффект падения решеточной теплопроводности в таких соединениях может быть использован в термоэлектрических применениях [4, 5]. На деле как теоретически, так и практически трудно выявить различие между истинно аморфными телами и кристаллическими твердыми телами, если размеры кристаллов очень малы [6]. Даже у аморфных материалов есть некоторый ближний порядок в атомном масштабе длины из-за природы химической связи. Кроме того, в очень маленьких кристаллах большая часть атомов находятся на или вблизи поверхности кристалла; релаксация поверхности и межфазные эффекты искажают атомные местоположения, уменьшая структурную упорядоченность. Для практических применений помимо манипулирования теплопроводностью можно также использовать и то, что аморфная форма имеет более высокую скорость растворения по сравнению с любой другой формой. Однако даже самые передовые методы определения структурных

характеристик, такие как дифракция рентгеновских лучей и просвечивающая электронная микроскопия, испытывают трудности в различении аморфных и кристаллических структур на этих масштабах.

Аморфному состоянию вещества в целом свойственна атомарная структура, имеющая ближний порядок, а характерный для кристаллических структур дальний порядок отсутствует [7–10]. Один из самых доступных материалов — аморфный кремний (a-Si) — является некристаллической аллотропной формой кремния [11]. Он может существовать в тонких пленках при низких температурах на различных подложках, а также, например, в форме нанонитей, предлагая ряд уникальных возможностей для разнообразных применений в электронике и фофонике. Кремний является четырежды скоординированным атомом, который, как правило, тетраэдрически связан с четырьмя соседними атомами кремния. В кристаллическом кремнии (c-Si) эта тетраэдрическая структура продолжается в широком диапазоне, образуя хорошо упорядоченную кристаллическую решетку. В аморфном кремнии этого дальнего порядка нет. Скорее всего, атомы образуют непрерывную случайную сетку. Кроме того, не все атомы в аморфном кремнии четырежды скоординированы. В связи с неупорядоченной природой материала некоторые атомы имеют оборванные связи. Физически эти оборванные связи представляют собой дефекты в непрерывной случайной сетке и могут вызывать аномальные электрический и тепловой режимы.

Метод расчета энергетических спектров в кремниевых аморфных квазиодномерных структурах

В представленной работе проведены теоретические исследования фононного транспорта в аморфных кремниевых нанонитях. Рассчитаны дисперсионные зависимости (рис. 1) при различных степенях аморфизации таких нанометровых структур с размерами всего в несколько монослоев (ML). Аморфизация кристаллических квазиодномерных соединений достигалась за счет вариации параметров межатомных взаимодействий, входящих в модель Valence Force Field (VFF) колебаний кристаллической решетки [12, 13]. При расчете энергетического спектра аморфных нанонитей были учтены следующие механизмы межатомных взаимодействий: двухчастичные «stretching», трехчастичные «bending», «stretching-stretching», «stretching-bending» и четырехчастичные «bending-bending».

Система уравнений движения для атома i может быть записана в гармоническом приближении как

$$M(i)\omega^2 u_\alpha(\vec{q}, i) = -\sum_{\beta} D_{\alpha\beta}(i, i) u_\beta(\vec{q}, i) + \sum_{j, \beta} D_{\alpha\beta}(\vec{q}, i, j) u_\beta(\vec{q}, j), \quad (1)$$

где $\alpha, \beta = x, y, z$. В уравнении (1) \vec{q} — волновой вектор, ω^2 и \vec{u} — собственные значения и векторы (фононные частоты в квадрате и смещения атомов размерно-ограниченной разупорядоченной системы, соответственно), $M(i)$ — масса атома i , D — элементы динамической матрицы

$$D_{\alpha\beta}(i,i) \equiv \sum_j \Phi_{\alpha\beta}(i,j); \quad D_{\alpha\beta}(\vec{q},i,j) \equiv \sum_j \Phi_{\alpha\beta}(i,j) e^{i\vec{q}\vec{n}(j,i)}, \quad (2)$$

где $\Phi_{\alpha\beta}(i,j)$ — силовые константы межатомных взаимодействий, $\vec{n}(i,j) = \vec{r}_i - \vec{r}_j$ — разность радиус-векторов двух атомов i и j .

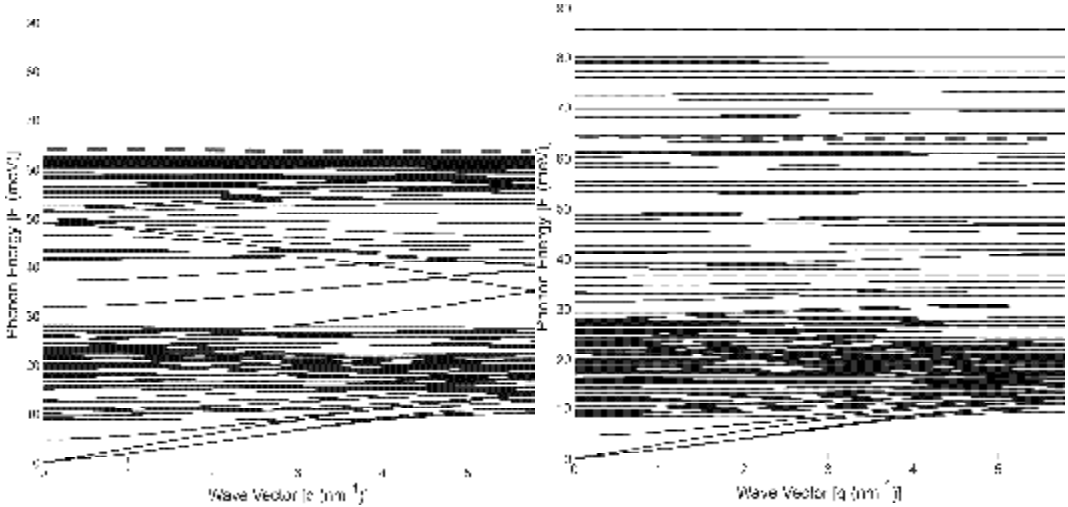


Рис. 1. Фононные энергетические спектры кристаллической кремниевой нанонити 8 ML × 8 ML (график слева) и такой же аморфной нанонити (график справа) с 90 % вариацией случайного распределения сил в кристаллографическом направлении [100] в рамках модели VFF

Из рис. 1 можно, во-первых, отметить, что максимальная энергия оптических фононов увеличивается от примерно 64 мэВ в случае кристаллической нанонити до более чем 85 мэВ для аморфной наноструктуры с 90 % разупорядочиванием независимо друг от друга силовых параметров межатомных взаимодействий. Таким образом, в исследуемых квазиодномерных наноструктурах растет число так называемых тяжелых малоскоростных квантов колебательного движения атомов. Также при более детальном рассмотрении видно, что если в нанонити (рис. 1, график слева) даже фононы с энергиями в районе 53 мэВ обладают весьма заметной групповой скоростью, то для аморфного наноэлемента (рис. 1, график справа) практически бездисперсен весь диапазон спектра от примерно 35 мэВ и выше, что ведет к снижению средних групповых скоростей фононов и соответственно к падению решеточной теплопроводности в аморфных размерно-ограниченных нанометровых структурах.

Фононные свойства аморфных кремниевых нанонитей

Проведенные в работе расчеты показали, что для исследованных наноструктур могут быть записаны следующие формульное (3) и численное (4) представления пределов повторений (*rep* в указанных выражениях) для достоверного определения фононных плотностей состояний (обозначение нижним индексом *DOS*, рис. 2, 3)

и средних групповых скоростей фононов (индекс $\langle v_g \rangle$, рис. 4) аморфных нанонитей при самом высоком исследованном разбросе в значениях силовых параметров меж-атомных взаимодействий ($amorph \rightarrow 90\%$). При других степенях аморфизации с более слабым разупорядочиванием динамической матрицы, очевидно, более чем достаточны указанные повторения в определении исследуемых физических величин:

$$\lim_{amorph \rightarrow 0\%} rep_{DOS}^{for\ all\ nanostructures}(amorph) = \lim_{amorph \rightarrow 0\%} rep_{\langle v_g \rangle}^{for\ all\ nanostructures}(amorph) \equiv 1. \quad (3)$$

$$\lim_{amorph \rightarrow 90\%} rep_{DOS}^{NW\ 8 \times 8\ MLs}(amorph) = \lim_{amorph \rightarrow 90\%} rep_{\langle v_g \rangle}^{NW\ 8 \times 8\ MLs}(amorph) \approx 120. \quad (4)$$

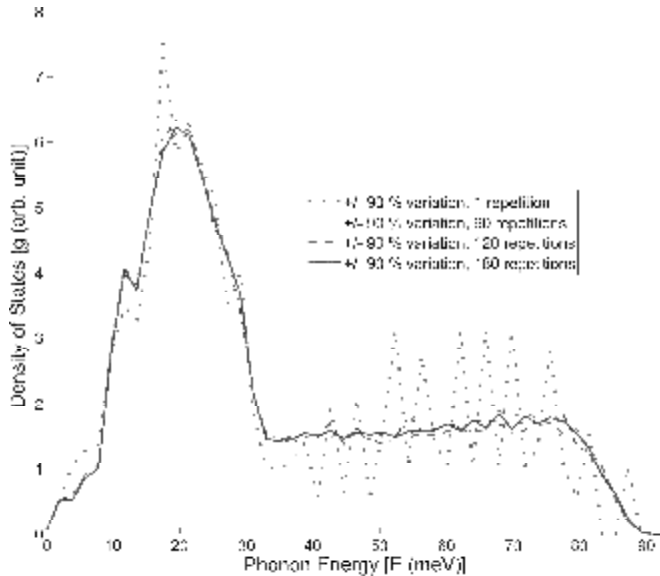


Рис. 2. Сравнение кривых фононных плотностей состояний при случайных выборках из 1, 60, 120 и 180 попыток к аморфизации кремниевой нанонити 8×8 MLs посредством $\pm 90\%$ вариации констант взаимодействий

При расчетах фононных плотностей состояний необходимо для более сглаженного и точного хода плотностных зависимостей увеличивать разбиение шкалы фононной энергии и повторные вычисления в случае аморфных нанонитей. Показано (рис. 3), что кривые фононных плотностей существенно меняются в аморфных нанонитях по сравнению с кристаллическими нанонитями и приобретают более плавный ход. Акустический диапазон плотностей слабо меняется при увеличении степени аморфизации, образуя так называемый бозонный пик при сильном разупорядочении динамических матриц [1–3], в то время как оптическая часть зависимости уплощается и уширяется в сторону больших энергий.

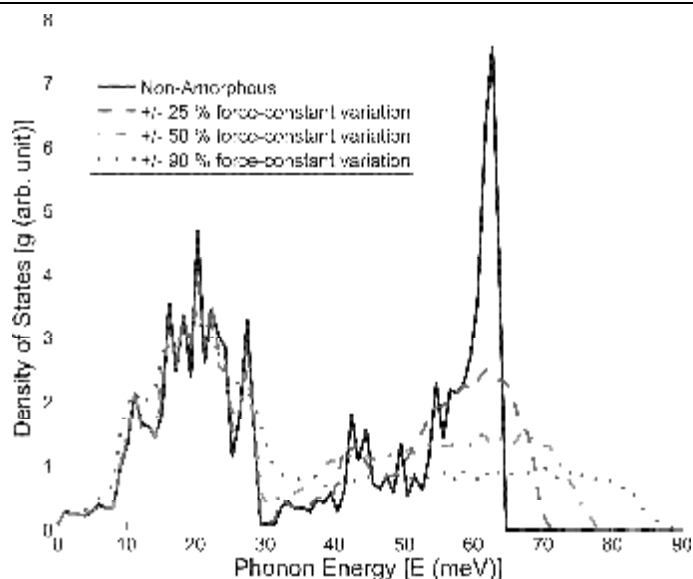


Рис. 3. Плотности фононных состояний для кремниевых аморфных нанонитей с различными степенями разупорядочения в распределении силовых констант

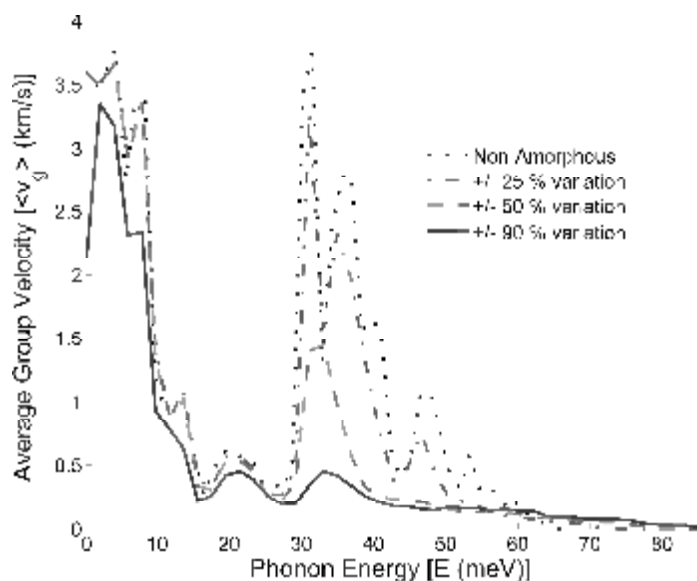


Рис. 4. Средние групповые скорости фононов исследуемых кристаллической Si-нанонити и некристаллических нанонитей с тремя степенями аморфизации ковалентных взаимодействий

Существенно влияние описанного метода аморфизирования наноструктур на средние групповые скорости фононов (рис. 4). Начиная с малых вариаций динамических матриц, нарушаются оптические свойства фононов кристаллической нанонити, с монотонной тенденцией к подавлению скоростей в аморфизированных

структурах. В свою очередь акустические характеристики фононов даже в нанонити с 50 % вариацией силовых параметров взаимодействий обладают идентичными не-аморфизированной нанонити средними групповыми скоростями акустических фононов в длинноволновом приближении. При более сильных нарушениях взаимодействий наблюдается резкий спад соответствующей скорости, таким образом происходит нарушение уже не только дальнего, что отражено на видоизменении оптического диапазона энергетических спектров, но и ближнего порядка взаимодействий в атомарной структуре.

Была рассчитана (рис. 5) решеточная теплопроводность квазиодномерных наноструктур κ_{1D} , выведенная с учетом плотности фононных состояний и имеющая следующий вид [13]:

$$\kappa_{1D} = \frac{1}{2\pi k_B T^2 d_1 d_2} \sum_{\alpha, s} \int_0^{q_{\max}} (E_s^\alpha)^2 \left(\frac{\partial \omega_s^\alpha(q)}{\partial q} \right)^2 \tau_{\text{tot}}(\omega_s^\alpha) \frac{\exp\left(\frac{E_s^\alpha(q)}{k_B T}\right)}{\left(\exp\left(\frac{E_s^\alpha(q)}{k_B T}\right) - 1\right)^2} dq, \quad (5)$$

где k_B — постоянная Больцмана, d_1 и d_2 — размеры поперечного сечения нанонити, $\tau_{\text{tot}}(\omega_s^\alpha)$ — полное время рассеяния фонона, α обозначает поляризацию фононной ветви в нанонити, $E = \hbar\omega$ — энергия фонона, и s обозначает номер фононной ветви. В полном времени рассеяния фононов учтены размерное ограничение исследуемых наноструктур, а также процессы переброса, характеризующие столкновения между квазичастицами, при которых закон сохранения импульса выполняется с точностью до вектора обратной решетки [14].

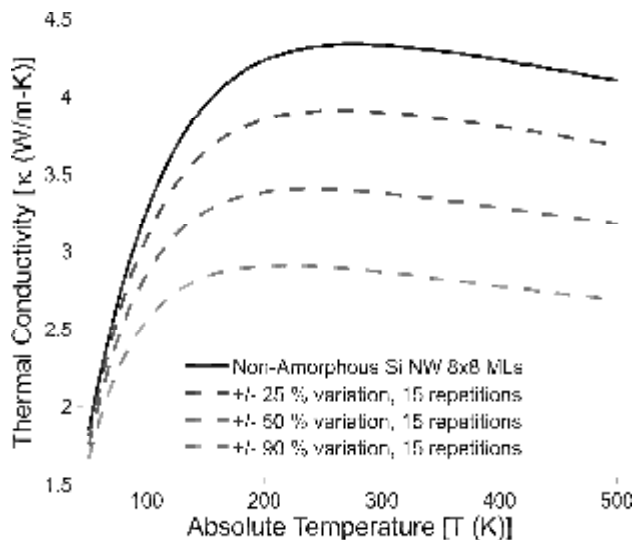


Рис. 5. Решеточные теплопроводности кристаллической кремниевой нанонити 8×8 MLs и нанонити со степенями аморфизации $\pm 25, 50, 90$ % (выборки из 15 расчетов)

Подавление фононного транспорта в исследуемых квазиодномерных наноструктурах вызвано ростом числа малоскоростных квантов колебательного движения атомов: теплопроводность в кремниевой нанонити квадратного поперечного сечения с размером, например, 8×8 монослоев, рассчитанная при комнатной температуре, падает с примерно 4,5 Вт/м·К для нанонити из кристаллического кремния до 2,8 Вт/м·К для аморфной нанонити со случайным разбросом значений параметров межатомных взаимодействий.

Выводы

Существенная перестройка плотностей фононных состояний и эффект сильного падения средних групповых скоростей транспорта фононов в кремниевых аморфных нанонитях объясняются размерным квантованием фононного спектра за счет разупорядочения атомных связей, формирующих квазиодномерные наноструктуры. Управление степенью аморфизирования наносоединений позволяет устанавливать контроль над регулированием модифицирования фононных свойств теоретически рассматриваемых кремниевых аморфных нанонитей с разупорядоченными силами связей. Также отражая фундаментальную теоретико-экспериментальную картину проводимых теоретических исследований, следует отметить, что в проведенных в данной работе исследованиях были получены результаты, находящиеся в согласии с экспериментально определяемыми колебательными плотностями состояний неупорядоченных систем, проявляющие низкочастотный избыток, так называемые бозонные пики. Коэффициент термоэлектрической добротности “figure of merit” $ZT = S^2 \sigma T / (\kappa_{ph} + \kappa_{el})$ содержит в знаменателе решеточную и электронную теплопроводности (κ_{ph} и κ_{el} соответственно), поэтому уменьшение теплопроводности при условии сохранения хороших электропроводящих свойств (электропроводности σ и коэффициента Зеебека S) позволяет повысить ZT в широком диапазоне температур T . Таким образом представленное в работе направление исследований выглядит перспективным с точки зрения теоретического отбора нанометровых структур с подходящими тепловыми и электрическими свойствами для дальнейшего их внедрения в нанотехнологические устройства.

Благодарность

За финансовую поддержку проведенных исследований авторы выражают благодарность научным проектам Республики Молдова 15.817.02.29F и ASM-STCU-5937.

Литература

1. Zorn R. Boson peak in confined disordered systems // *Phys. Rev. B*. 2010. Vol. 81. P. 054208-1–054208-10.
2. Schirmacher W., Diezemann G., Ganter C. Harmonic Vibrational Excitations in Disordered Solids and the “Boson Peak” // *Phys. Rev. Lett.* 1998. Vol. 81. P. 136–139.
3. Finkemeier F., von Niessen W. Boson Peak Amorphous silicon: a Numerical Study // *Phys. Rev. B*. 2001. Vol. 63. P. 235204-1–235204-6.

4. *Wada H., Kamijoh T.* Thermal Conductivity of Amorphous Silicon // *Jpn. J. Appl. Phys.* 1996. Vol. 35. P. L648—L650.
5. *Lee Y. H., Biswas R., Soukoulis C. M., Wang C. Z., Chan C. T., Ho K. M.* Molecular-dynamics simulation of thermal conductivity in amorphous silicon // *Phys. Rev. B.* 1991. Vol. 43. P. 6573–6580.
6. *Inoue A., Hashimoto K.* *Advances in Materials Research: Amorphous and Nanocrystalline Materials.* Berlin: Springer, 2001.
7. *Фельц А.* Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.: Мир, 1986.
8. *Бродски М., Карлсон Д., Коннел Дж.* Проблемы прикладной физики: аморфные полупроводники. М.: Мир, 1982.
9. *Liu X., Feldman J. L., Cahill D. G., Crandall R. S., Bernstein N., Photiadis D. M., Mehl M. J., Papaconstantopoulos D. A.* High Thermal Conductivity of a Hydrogenated Amorphous Silicon Film // *Phys. Rev. Lett.* 2009. Vol. 102. P. 035901-1–035901-4.
10. *Freeman J. J., Anderson A. C.* Thermal Conductivity of Amorphous Solids // *Phys. Rev. B.* 1986. Vol. 34. P. 5684–5690.
11. *Zallen R.* *The Physics of Amorphous Solids.* New York: Wiley InterScience, 1998.
12. *Camacho D., Niquet Y. M.* Application of Keating's Valence Force Field Model to Non-ideal Wurtzite Materials // *Physica E.* 2010. Vol. 42. P. 1361–1364.
13. *Crismari D. V., Nika D. L.* Thermal Conductivity Reduction in Si/Ge Core/Shell Nanowires // *J. of Nanoelectronics and Optoelectronics.* 2012. № 7(7). P. 701–705.
14. *Nika D. L., Cocemasov A. I., Crismari D. V., Balandin A. A.* Thermal Conductivity Inhibition in Phonon Engineered Core-shell Cross-section Modulated Si/Ge Nanowires // *Appl. Phys. Lett.* 2013. Vol. 102. P. 213109-1–213109-5.

Э. Д. Курбанова, В. А. Полухин, А. Б. Гусева, Н. С. Митрофанова

ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ АТОМНЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СТРУКТУР ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕРФЕЙСОВ ГРАФЕНА И СИЛИЦЕНА НА ПОДЛОЖКАХ МЕТАЛЛОВ

На основе компьютерного моделирования термической эволюции интерфейсов графен/металл и силицен/металл (М: Ir, Au, Ag и др.) установлены критерии стабильности функциональных свойств этих интерфейсов при сохранении конуса Дирака, как условие достижения высоких скоростей электропереноса (включая легирование интеркалляцией калия).

Ключевые слова: *графен, ринг-кластеры, термостабильность, силицен.*

Analyzing MD simulation data on the thermic evolution of G/M, Si/M interface there have been established the specificities and criteria of functional stability of atomic, electron (conserving Dirac cone) structures, as main condition of excellent electronic properties (superconductivity including).

Keywords: *graphene, ring clusters, thermal stability, silicone.*

Опыт применения техники лучевой эпитаксии и газофазного синтеза с формированием структур монослоев и стопок графена приемлемых размеров стимулировал получение таким же методом двумерных кристаллов других полупроводников — Si, Sn и Ge [1–5]. Так на покрытых флюидной пленкой аргона поверхностях высокой чистоты — до одного атома переходных металлов, алюминия и других методом CVD для некоторых металлов удалось синтезировать как двумерные кристаллы углерода (графен) и графеновые стопки нанометровой толщины, так и двумерные кристаллы Si [3], Ge [4].

Этим же методом в реакторах «in situ» создаются упрочненные графеном материалы и более сложные композиты. На основе модифицированной теории функционала плотности сильных связей (DFT-TV) оцениваются кристаллографические характеристики интерфейсных структур (покрытий) — стыки и фракции двойниковых и *n*-границных фрагментов ринг-кластеров, грани и ориентационные углы их упаковок в покрытиях из слоистых УНТ-композиций (связок, пучков) [2]. Важным для приложений свойством слоистых композитов со структурными элементами — интерфейсных пар по типу сэндвичей, полученных при двустороннем покрытии плотноупакованными плоскостями ферромагнитных материалов (к примеру, (111)-Ni) графеновых стопок из одного или нескольких листов ($N \sim 5$), это разделение тока электронов по их спиновым состояниям [6, 7]. Именно на эффекте разделения электронов по спиновым состояниям уже в ближайшее время будут созданы не только самые емкие информационные носители, но и процессоры ПК.

Это открывает новые горизонты развития наноэлектроники, с учетом очень высокой скорости электронов в композитах (армированных графеном, Me/графен или силицидом, Me/Si) достигается под воздействием электромагнитных полей в уже производимых переключателях электропроводности и накопителях заряда (конденсаторах), фоточувствительных транзисторах, химических сенсорах и др. [2].

В представленной работе на основе результатов компьютерного моделирования [1, 2], данных газофазного синтеза [3, 5] и электронной микроскопии [5] выполнен сравнительный анализ термической эволюции и стабильности интерфейсных систем C_N/Me , Si_N/Me , структурных единиц гетероструктурно-слоистых композитов, а также течения активированных атомной динамикой процессов формирования на металлических поверхностях раздела элементарных 2D-кластеров (C_N , Si_N) в зависимости от способов их получения, характера связи и влияния природы Me подложек.

Прочность сцепления в интерфейсах инкапсулированных фуллереноподобных луковиц, нанотрубках и слоистых материалах, интенсивность атомной миграции при термоактивировании определяется в значительной степени силой формирующихся в результате сорбции разноименных связей Me-C контактной пары, которые могут быть описаны в рамках теории функционала плотности [2]. Так, при контакте переходных металлов (TMe) с графеном (G-2D-кристаллом углерода) имеет место сближение уровня Ферми до пересечения с зонами π и π^* орбиталей C (т. е. с занятыми и вакантными состояниями, разделенными уровнем Ферми и соприкасающимися с ним в графене, обладающим нулевой запрещенной зоной). И чем сильнее энергия связи (G/Ni: $E_c = -91,33 \cdot 10^2 \text{ эВ} \cdot \text{нм}^{-2}/\text{C}$ и для Cu/G: $E_c = -24,81 \cdot 10^2 \text{ эВ} \cdot \text{нм}^{-2}/\text{C}$), тем выше прочность на растяжение, т. е. 18,70 ГПа для Ni/G в сравнении 2,92 ГПа для Cu/G [2]. Так, механизм формирования интерфейса Cu/G со специфическими свойствами и взаимодействиями объясняется короткодействующим характером дипольно-дисперсионных сил притяжения.

Для моделирования контактных слоев поверхности переходных металлов и рингкластерной структуры были выбраны параметризованные функции версий теории функционала плотности — ЕАМ Саттона-Чена для Ni, Cu и сильной связи — «ТВ — tight binding» Клери-Розатто [2] для Pd), развитых специально для моделирования поверхности металлов, межфазных контактов — структуры TMe/G. Металлы по силе взаимодействия в интерфейсном слое с графеном условно можно разделить на два типа. Металлы VIII группы (Fe, Co, Ni) и Pd (отнесены к первому типу) формируют более сильные связи с графеном, что стабилизирует и его планарную структуру даже при нагреве [5]. В то время как Al, Cu, Ir, Ag, Au и Pt (2-го типа) являются слабо взаимодействующими, что не препятствует перестроению части sp^2 плоских координаций в стерические sp^3 , вызывающими появление не только дефектов гофрирования на плоскостях графена, но и кластерных образований со специфическими координациями — ринг-кластеров из атомов графена и d-адамов прилегающей поверхности (111).

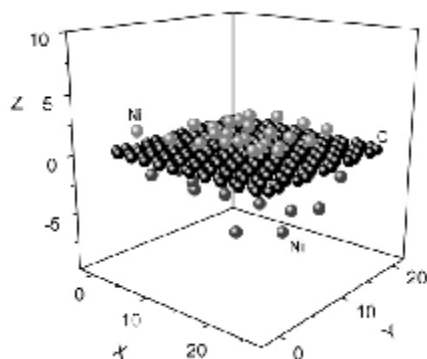


Рис. 1. Изменение в результате нагрева до 1300 К в течение 200 пс конфигурации системы графен-никель с двухсторонней суперпозицией плоскостей (111) никеля на листе графена (Ni/G1/Ni) [2]

Для диагностики температурной зависимости электропроводности Me/G-интерфейсов применяются не только двух- и четырехзондовые методы «остаточного сопротивления» (residual), также другие (transfer length [6]). Так, контактное сопротивление интерфейсов R_c оценивается с учетом полного сопротивления системы R_t (источник-сток) $R_c = 1/2 (R_t - R_G)$, где R_G — электросопротивление интерфейса Me/G, контактирующего с субстратом, (сток: back-gate) SiO_2/Si ($d_{\text{SiO}_2} \sim 90$ нм). Данные по электросопротивлению R_c для интерфейсов Me (Al, Au, Ag, Pd, Ni, Ti) в зависимости от силы тока I ($R_G = V/I$ — отношение падения напряжения ΔV к силе тока I в цепи) получены как в экспериментальных исследованиях, так и в теоретических для d-металлов и Al/G.

Термостабильность электросопротивления существенно зависит и от числа слоев в контактирующем с металлом графене (рис. 2), поскольку это сказывается на ширине перекрытия энергий валентной зоны и проводимости, $\Delta E_{в-пр}$ с увеличением от 1 мэВ при двухслойном графене до 11 мэВ для 8-слойной графеновой стопки [6]. Очевидно, что влияние термоактивации на плотность зарядоносителей в электротокке будет очень значительным при малых энергиях перекрытия по сравнению с тепловой энергией (для объемного образца графита $\Delta E_{в-пр} \sim 40$ мэВ).

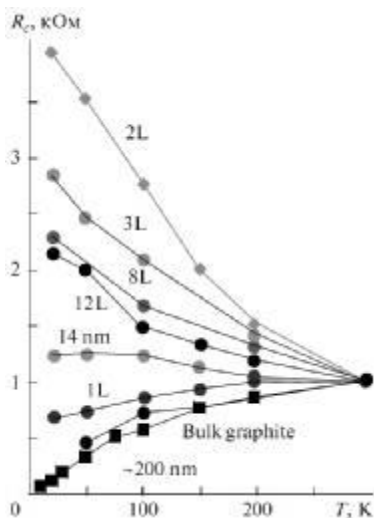


Рис. 2. Температурная зависимость нормированных значений электросопротивления $R_c(T)/R_c(297 \text{ K})$ металлических пленок в контакте с графитом и графеновыми стопками из nL атомных слоев ($n = 1...12$):
 Cr/Au (10...20 нм) — с 2L, 3L, 14 нм, 200 нм графена и графита (черные квадратики);
 Ti/Au (10...20 нм) — с 8L, 12L графена;
 Ni (25 нм) — с 1L графена [6]

Анализ термостабильности интерфейсных состояний Ме/графен и Ме/силицен проводился на основе молекулярно-динамического моделирования (МД) с оценкой температурных изменений кинетических коэффициентов D_{xy} и D_z , характеризующих подвижность атомов металлов во всей исследуемой температурной области с перекоординациями в интерфейсах, отличающихся характером связей (подвижности атомов в плоскости xy отражает коэффициент D_{xy} , а вдоль нормали D_z , рассчитываемые в молекулярно-динамической модели через среднеквадратичные смещения атомов, соответственно, $\langle \Delta r_{xy}^2 \rangle$ и $\langle \Delta z^2 \rangle$). Выполнены такие исследования для пленок Cu и Ni, размещенных на Gn (т. е. с одной армирующей плоскостью или двумя: $n = 1, 2$) [2]. Результаты температурной зависимости диффузионной подвижности для интерфейсов хемосорбционного типа — с односторонним и двусторонним покрытием («сэндвич»: Ni/G/Ni, рис. 1) графена пленками Ni и адсорбционного типа взаимодействия с покрытием графена пленкой Al в интеркаляционном интерфейсе (Ni/Al/G/Ni) представлены на рис. 3.

Выявлено, что структурные изменения в подсистемах Ni-интерфейса (рис. 1) с повышением температуры связаны с ростом подвижности атомов (рис. 3, система (I)) (как и интерфейса Pd/G), и отличаются заметным эффектом термоактивированного выталкивания атомов C (рис. 3, система (II)), (при более высоких температурах, чем для Pd/G, Cu/G) при смещении атомов в контактных плоскостях металлов в зону формируемого интерфейса на основе G [2].

Так коэффициент самодиффузии в горизонтальных слоях островковых пленок Ni (D_{xy}) и в вертикальном (D_z) направлении очень незначительно изменяется вплоть до температуры 1800 К как результат сохранения связности и термостабильности атомной структуры пленок Ni, их частичного уплотнения (2-3 %) за счет влияния более сильных межатомных взаимодействий чем между атомами алюминия, с более интенсивными перемещениями.

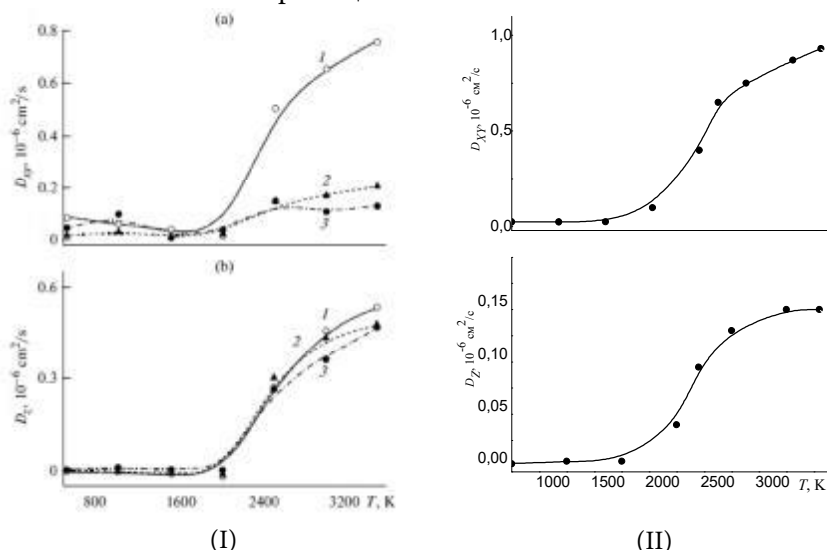


Рис. 3. Температурные изменения коэффициентов диффузии D_{xy} и D_z атомов металлов в интерфейсах:

- (I) — пленок Ni (кривые 1) при одностороннем размещении на листе графена Ni/G и двухстороннем Ni/G/Ni (кривые 2 и 3, соответственно для верхней и нижней пленок Ni) [7];
 (II) — атомов Al интеркаляционной пленки в интерфейсе Ni/Al/G/Ni [5]

Реализация теоретического прогноза возможности получения композитов с устойчивыми поверхностями раздела (стабильными интерфейсными состояниями) двумерных кристаллов кремния (силицена) на металлических подложках привела к успешному синтезу силицена с устойчивой структурой только на поверхностях (111) и (001)-Ag, (111)-Pt [3]. Они получены методом «сухой» эпитаксии со стабильной структурой поверхностей раздела (интерфейса), сформированных при сверхвысоком вакууме из осажденных двумерных кристаллов Si_N на поверхностях (111) Ag, Ir, Au, а также 2D-кластеров Ge_N на Pt, т. е. германена (и на менее дорогом Au) [6] через 4 года после теоретического предсказания самой возможности синтеза стабильного германена. Структура оказалась не вполне планарной (при суммарной толщине интерфейса Si-Me 1,6 нм), а ребристой (волнистой), но не настолько с выраженными sp^2/sp^3 гибридованными координациями, как в случае модельных ребристых Si-сфероидов (аналогов фуллерена [2]). Согласно нашим расчетам, 2D-(планарные) конфигурации нанокластеров Si_N на поверхности (111)-Ag оказались более стабильными чем 3D-полиэдры. В той же степени

и транспорт заряда в силиcene реализовывался током безмассовых высокоскоростных фермионов ($\sim 10^5 \dots 10^6$ м/с) [1–5] (учитывая линейную зависимость дисперсии энергии $E(k)$ и равенство нулю ее второй производной).

С повышением температуры и увеличением масштаба волнистого монослоя на поверхности (111)-Ag, согласно расчетам квантовой динамики, именно орбитали sp^2 стабилизируют подобные координации силицена, в то время как на (111)-Rh преобладают sp^3 -координационные связи, приводящие к существенным дефектам гофрированию и образованию 3D-координаций.

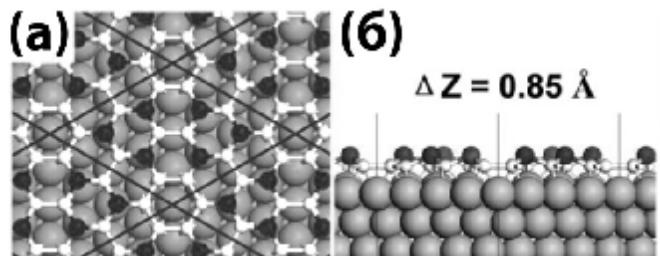


Рис. 4. Одна из трех смоделированных атомных структур силицена (I–III) [5], соответствующих координациям решеток, полученных вакуумным осаждением атомов Si на поверхность (111)-Ag [8]:

(а) — вид сверху, (б) — вид сбоку. Отклонение от поверхности (111)-Ag ΔZ ($\sim 0,1$ нм) иллюстрирует размер атомов — максимально удаленные даны с увеличением и окрашены черным цветом.

Так что действительно адсорбция на поверхности (111)-Ag оказалась решающим фактором для гибридизации связей sp^2/sp^3 и достижения стабильности планарных конфигураций Si_N . Как интерфейс Ме/графен унаследовал уникальные свойства графена с незначительным сдвигом энергии Ферми (и ненулевой запрещенной зоной), так и интерфейс 2D- Si_N обладает схожими с графеном электронными характеристиками (линейной зависимостью дисперсии энергии $E(k)$), а также специфическими спектрами состояний в зоне Бриллюэна (рис. 4) (купол Дирака) [3].

Зонная структура (рис. 5в) — распределение энергий электронов силицена представлена куполом Дирака, а начало формирования запрещенной зоны под влиянием дефектов (рис. 5г) с увеличением. Направления по осям симметрии (обозначены буквами: L, M, T и др.) отвечают наибольшей симметрии рассеяния или дисперсии электронной энергии, а точка Γ характеризует наивысшую симметрию зоны Бриллюэна (гексагон над усеченным кубооктаэдром — сечение плоскостью k_x-k_x , проходящей через точку Γ).

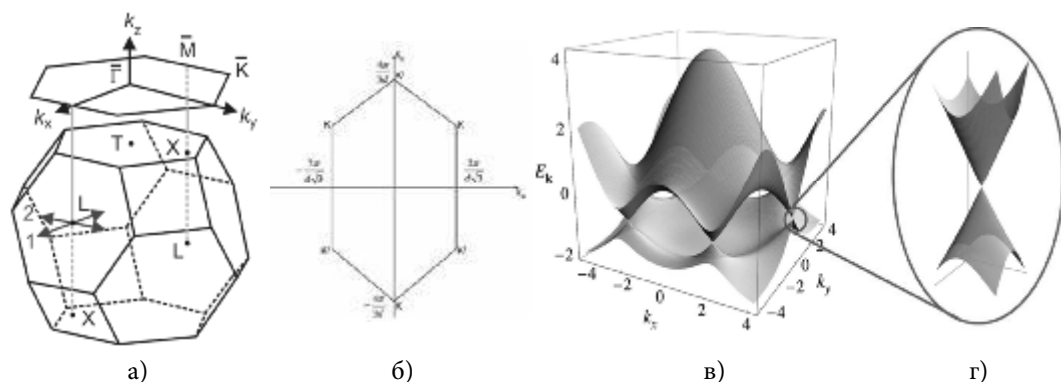


Рис. 5. Зоны Бриллюэна и зонная структура:

- а) и б) — зоны Бриллюэна в обратном пространстве волновых векторов ($k = 2/R$) для ГЦК-структуры кристалла Ag (а) (ячейка Вигнера-Зейтца — кубооктаэдр) и графена (б);
 в) — зонная структура (распределение энергий электронов силицена) в виде купола Дирака;
 г) — начало формирования запрещенной зоны под влиянием дефектов [11]

Но в отличие от графена формирование планарных π -связей в силиcene не является энергетически конкурентным в сравнении с более сильными взаимодействиями состояний $3p$ -Si и $4d$ -Ag. При этом значения углов связей α и β в гексогональных координациях испытывают флуктуационные изменения ($\alpha = 12^\circ \dots 21^\circ$, $\beta = 15^\circ \dots 118^\circ$), соответствующие состоянию sp^2/sp^3 [4]. Отметим, что спектр локальной плотности $3p$ состояний кристалла кремния характеризуется наличием на уровне Ферми псевдощели, такой же как и у графена и силицена, отражающей двойственный характер sp^2 -связей.

В отличие от адсорбционных интерфейсов графена (при контактах с Al и d-металлами Cu, Ag, Pt, Au) при формировании хемосорбционных интерфейсов графена с подложками Ni, Ti, Co, Pd посредством гибридизации состояний p_z - и d-состояний наблюдается разрушение уникальной электронной структуры — конуса Дирака графена с потерей специфических свойств проводимости [5]. Прецизионное интеркалирование межслоевой структуры (легирование) вышеуказанных интерфейсов, а Me/G/Me реализуется эпитаксиальным (или CVD) осаждением дополнительного протекторного монослоя, допирующего их электронами (т.е. как d-металлами с адсорбционными свойствами: Au, Cu, Pt, так и другими — Al или щелочными [5]). В то время как при синтезе функциональных интерфейсных пар графена и металлов, классифицируемых как физико-адсорбционные [2] с более слабыми связями (диполь-дисперсионными) электронная зонная структура графена в виде конуса Дирака сохраняется. Поэтому при получении интерфейсных композитов силицен/металл (M:Ag, Pt, Au и Ir) одной из целей проводимых исследований было установить, имеются ли возможности воспроизведения состояний конуса Дирака, учитывая волнистость структуры силицена при sp^2/sp^3 гибридизации в двух его подслоях [3].

В расчетах *ab-initio* пленок силицена на поверхностях Ag и с другими гетероструктурами результат оказался таким же — отсутствие конуса Дирака [2]. Взаимное наложение силицена с другими подложками Pt, Al и Au привело к большим параметрическим несоответствиям и отсутствию конуса Дирака. Однако при интеркаляционном легировании непосредственно в контактную зону поверхности раздела вышеперечисленных интерфейсов удалось существенно убавить взаимоотношение между подслоями силицена и снизить волнистость его структуры, разрушающей конус Дирака.

Согласно теоретическим оценкам [2] и экспериментальным данным [4] при формировании интерфейса $(31/2 \times 31/2)$ 2D-Si решетки бислойного силицена на плоскости (111)-Ag имела место сильная гибридизация орбиталей Si и Ag. Легированием интерфейса графен/Ni его межслойным расклинивающим интеркалированием щелочными металлами (M: Na, K, Cs [5]), *sp*-металлами (на примере Al, рис. 6а) и даже *d*-металлами (Au, Cu) с целью ослабления хемосорбционных связей графена с подложкой Ni (рис. 6б) удалось восстановить для графена электронные состояния конуса Дирака [5] и спин-поляризованные состояния прилегающих внутренних слоев. Наиболее эффективно интеркаляционное ослабление интерфейсных связей силицена с вышеуказанными металлами достигалось с формированием подслоя (в поверхности раздела) из щелочных атомов при размещении их под Si-гексагонами силицена.

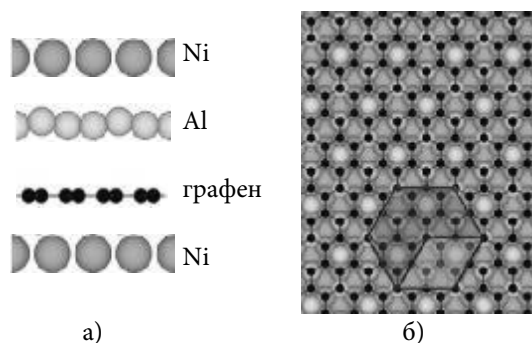


Рис. 6. Схематическое представление интеркаляционного легирования алюминием структуры интерфейса Ni/Al/G/Ni: верхние два слоя — Ni, затем Al на графене G (а), находящимся на подложке (б) — плоскости (111)-Ni

Зонная структура — распределение энергий электронов представлена куполом Дирака (рис. 5б), внизу π -состояния валентной зоны, верхняя часть — π^* -зоны проводимости, точки касания конусов (уровень энергии Ферми) — отвечают наиболее высокой баллистической (без рассеяния) электропроводности, описываемой скоростью Ферми, $v_F = 3 \cdot 10^6$ м/с — аналога «эффективной» скорости света. Она же и коэффициент пропорциональности для закона линейной зависимости дисперсии энергии фермионов $E(k) = \pm \hbar v_F \cdot k$, из которого следует

их безмассовость — положительной энергии электронов, а со знаком (–) дырок (псевдочастиц с отрицательной энергией). Речь конечно идет об эффективной массе, которая в электронике определяется второй производной от $E(k)$ по вектору k . Дефекты и примеси приводят к появлению щели (запрещенных энергетических зон) в точках касания куполов и потери металлической проводимости с обретением полупроводниковых свойств.

Таким образом, структурные элементы интерфейсных пар графен/металл, как основа слоистых композитов, отличаются более высокой термостабильностью в сравнении с интерфейсом силицен/металл, плоскости которого в результате термофлуктуационных колебаний теряют устойчивость, так что изначально задаваемая гексогональная структура в результате перекоординации связей $sp^2 \rightarrow sp^3$ спонтанно самоорганизуется в искаженную 3D-тетраэдрическую сетку с потерей специфической электронной структуры (конуса Дирака). Последняя может быть эффективно восстановлена при интеркаляционном легировании пленками металлов адсорбционного типа с высоким электронным потенциалом допирования: для интерфейсных систем на основе графена — Cu, Au, Al, а силицена — пленками щелочных металлов.

Литература

1. Kosimov D. P., Dzhurakhalov A. A., Peeters F. M. Carbon Clusters: from Ring Rtructures to Nanographene // *Phys. Rev. B*. 2010. Vol. 81. P. 195414.
2. Polukhin V. A., Vatolin N. A. Stability and Thermal Evolution of Transition Metal and Silicon Clusters // *Russ. Chem. Rev.* 2015. Vol. 84(5). P. 498–539.
3. Vogt P., De Padova P., Quaresima C., Avila J., Frantzeskakis E., Asensio M. C., Resta A., Ealet B., Le Lay G. Silicene: Compelling Experimental Evidence for Graphenelike Two-Dimensional Silicon // *Phys. Rev. Lett.* 2012. Vol. 108. P. 155501.
4. Dávila M. E., Xian L., Cahangirov S. Germanene: a Novel Two-dimensional Germanium Allotrope Akin to Graphene and Silicone // *New J. Phys.* 2014. Vol. 16. P. 095002 (1–10).
5. Generalov A. V., Voloshina E. N., Dedkov Y. S. Structural and Electronic Properties of Graphene-Based Junctions for Spin-Filtering: the Graphene/Al/Ni(111) Intercalation-Like System // *Appl. Surf. Sci.* 2013. Vol. 267. P. 8–11.
6. Polukhin V. A., Kurbanova E. D. Dependence of the Thermal Stability of the Interface States of d Metals (Cu, Pd, Ti, Ni) and Al with Graphene on the Character of Sorption and Diffusion Mobility in a Contact Zone // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2015. Vol. 89. № 3. P. 531–546.
7. Galashev A. Y., Polukhin V. A. Computer Investigation of the Stability & Structure of Si & SiO₂ Nanoparticles. USA, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012.

Е. А. Максимова, М. В. Волкова

ИЗУЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД

Рассмотрена проблема необходимости поиска источников пресной воды в условиях ее нехватки. А также представлено исследование качественного и количественного состава водяного конденсата, образующегося после сжигания топлива, используемого в качестве альтернативного источника пресной воды, ее очистке, и конкретные предложения по ее эксплуатации.

Ключевые слова: *очищение стоков, использование бросовой воды, биологическое очищение.*

The problem of the need to find sources of fresh water in terms of its lack is considered in this article. Also there is study of the qualitative and quantitative composition of the water condensate formed after combustion of the fuel that used as an alternative source of fresh water, its purification, and specific proposals for its operation.

Keywords: *the purification of effluents, use of waste water, biological purification.*

Известно, что количество воды в природе практически неизменно. Для использования в промышленности, сельском хозяйстве и быту пригодны в основном пресные воды. В связи с интенсивным ростом населения и его производственной деятельностью потребность в воде неуклонно возрастает. В настоящее время она достигла таких масштабов, что во многих местах планеты, и особенно в развитых промышленных районах, возникла острая проблема нехватки пресной воды, которую испытывает 1/3 населения планеты. Согласно же данным ВОЗ, почти 3 млрд жителей планеты пользуются некачественной питьевой водой.

В связи с вышеизложенным представляется интересной возможность использовать брошенные, загрязненные воды. Источники такой воды достаточно многочисленны, например котельные. Необходимо отметить, что в котельных можно использовать воды из контактных теплообменников (где они установлены) или водяной конденсат. При сжигании топлива в топке образуется водяной конденсат. Конденсат — наиболее вредное явление для дымовых труб и дымоходов, т. к. именно он является основной причиной разрушения дымоходов.

Любое топливо состоит из горючих (углерод + водород + сера) и негорючих (кислород + зола + вода) составляющих. При сгорании водород соединяется с кислородом, образуя водяной пар. Кроме того, любое топливо содержит воду (при сгорании антрацита в дымовых газах содержится до 3 % водяного пара). Дымовые газы, проходя по дымоходу, неизбежно охлаждаются, водяной пар на стенках дымохода конденсируется (превращается в воду), растворяет в себе сажу, т. е., соединяясь с продуктами сгорания топлива в агрегате, образует соответствующие кислоты

или их смеси. В числе таких кислот — соляная, азотная и серная. В некоторых случаях может образовываться их смесь, так называемая царская водка. Все это и есть конденсат — весьма агрессивная черная жидкость с очень неприятным запахом. В настоящий момент этот конденсат не используется, обычно он выбрасывается в коллекторы.

На данный момент такой конденсат очищают с помощью зеленой микроводоросли хлореллы. Зеленая микроводоросль становится доминирующей, насыщая воду кислородом и удаляя из нее излишки углекислого газа, органических и неорганических веществ, предотвращает «цветение» воды и устраняет неприятные запахи. При этом уничтожается вся патогенная микрофлора. Повышение уровня растворенного кислорода в воде способствует окислению тяжелых металлов. Изначально, в конденсате представлена практически вся таблица Менделеева, что видно из приведенной таблицы (табл. 1). Это результаты исследования очищенного конденсата на масс-спектрометре.

Таблица 1

Массовая концентрация элементов С, мкг/дм³

Элемент	С	Элемент	С	Элемент	С	Элемент	С
Li	9,5	Mn	0,1	Mo	0,25	Ta	< 0,1
Be	< 0,1	Fe	< 0,3	Cd	0,001	W	0,5
B	0,5	Co	< 0,1	Sb	2,2	Re	< 0,1
Na	73 100	Ni	0,1	Te	0,1	Os	< 0,1
Mg	2 080	Cu	1,0	I	55,9	Ir	< 0,1
Al	0,5	Zn	6,4	Ba	0,1	Pt	< 0,1
Si	335,3	Ga	0,1	Dy	< 0,1	Au	< 0,1
K	24 000	Ge	< 0,1	Ho	< 0,1	Hg	0,0005
Ca	2 500	As	0,05	Er	< 0,1	Tl	< 0,1
Sc	< 0,1	Se	0,01	Tm	< 0,1	Pb	0,03
Ti	4,4	Br	520	Yb	< 0,1	Bi	< 0,1
V	1,8	Rb	1,1	Lu	< 0,1	Th	< 0,1
Cr	0,9	Sr	81,9	Hf	< 0,1	U	< 0,1

Очищенная вода имеет прозрачный цвет, нормальную жесткость и большое количество солей, окислов железа. Безусловно, для питьевых целей такую воду использовать нельзя. Было предложено несколько вариантов применения очищенного стока, некоторые из которых можно обнаружить в ранее опубликованных статьях. В данной же статье она используется для пресловутого полива растений.

Для исследований были выбраны бобовые, как наиболее быстро растущие и неприхотливые растения. Кроме того, бобовые имеют свойства накапливать в корнях, стеблях и плодах химические вещества, что позволяет сделать качественный и количественный анализ поглощенных веществ.

Находясь в естественных условиях, растения получают все необходимые для роста вещества непосредственно из почвы — через корневую систему. Для чистоты эксперимента исследование проводилось с тремя емкостями, в одной из которых бобовые поливались очищенным стоком, во втором — дистиллированной водой и в третьем — проточной. Семена, поливаемые очищенным стоком, прогрессируют быстрее, нежели в двух других случаях (рис. 1).

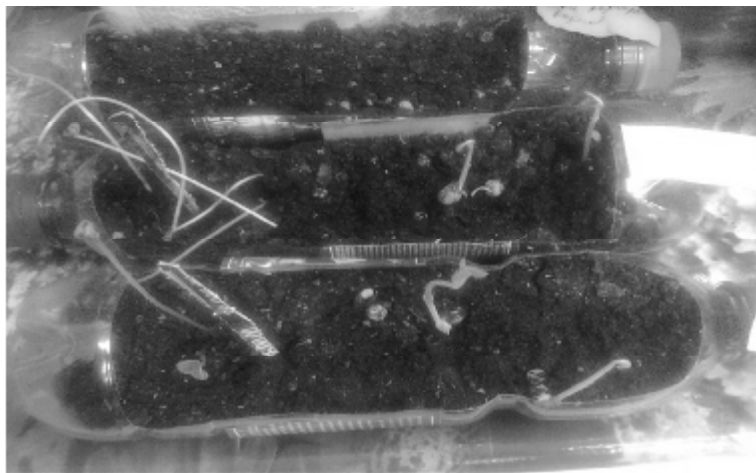


Рис. 1. Верхний лоток — водопроводная вода, средний лоток — очищенный сток, нижний лоток — дистиллированная вода

У семян, поливаемых водой из очищенного стока, наибольшее количество взошедших семян (5 из 8) спустя 5 дней, в отличие от семян, поливаемых дистиллированной (4 из 8) и проточной водой (3 из 8), и длина ростков превышает оное в параллельных наблюдениях. Спустя несколько недель ростки, поливаемые водой из очищенного стока, превышают 20 см. В то время как семена, поливаемые проточной водой, не превышают 7 см.

Далее выращенные стебли гороха были исследованы по химическому составу (табл. 2). В стеблях от очищенного стока содержится больше магния, чем в двух других образцах, что, вероятно, и обуславливает их ускоренный рост, однако это не доказывает наличие повышенного количества магния в плодах (требуется дальнейшее исследование), следовательно, предположительно воду очищенного стока можно применять для ускорения роста семян. Кроме того, необходимо выяснить, почему в растениях, поливаемых водопроводной водой, свинца в 10(!) раз больше. На данный момент не хватает материального обеспечения для полноценного исследования, однако ведутся повторные исследования для выяснения вышеупомянутых вопросов.

Массовая доля элементов в стеблях гороха, мг/кг

Элемент	Очищенный сток	Дистиллированная вода	Водопроводная вода
Ag	1,04	1,16	1,02
Al	94,52	122,91	71,57
Ca	7 343,17	7 212,43	7 198,36
Cd	0,00	0,00	0,00
Co	0,31	0,35	0,20
Cr	5,30	6,03	4,91
Cu	32,20	34,79	26,58
Fe	228,50	273,65	186,09
Mg	2 253,84	2 168,37	2 382,41
Mn	114,25	74,21	94,07
Ni	3,84	3,94	3,07
Pb	5,19	5,80	50,10
Sr	9,35	10,44	9,20
Zn	114,25	107,84	131,90

Литература

1. Волкова М. В., Максимова Е.А. Использование очищенных стоков // Студенческий научный форум. 2014.
2. Волкова М. В., Максимова Е.А. Привлечение студентов к решению практических экологических задач // Чистая вода России. 2015. С. 67–69.
3. Макарова Д. Н. Установка интенсификации фотосинтетической активности биомасс с целью связывания диоксида углерода и получения нового вида биотоплива // Студенческий научный форум. 2014.

Д. С. Мальцев, В. А. Волкович, Л. Ф. Ямщиков, А. В. Чукин

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УРАНА В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ СПЛАВЕ Ga-Sn

Исследованы термодинамические свойства урана в жидкометаллических системах U-Ga, U-Sn и U-Ga-Sn. Активность урана в сплавах с оловом, галлием и в эвтектическом сплаве галлий-олово определена в температурном интервале 573...1073 К. Растворимость урана в Ga-Sn_{эвт} и в чистом Sn измерена в температурном интервале 298...1073 К. Также были рассчитаны коэффициенты активности, парциальные и избыточные термодинамические функции урана в сплавах с Ga, Sn и Ga-Sn_{эвт}.

Ключевые слова: уран, галлий, олово, эвтектический сплав галлий-олово, активность, коэффициенты активности, растворимость, термодинамика.

Thermodynamic properties of uranium were studied in U-Ga, U-Sn and U-Ga-Sn systems. Activity and activity coefficients of uranium were determined in alloys with tin and gallium-tin eutectic (13,5 wt. % Sn) between 573 and 1073 K. Solubility of uranium in Ga-Sn eutectic and in pure Sn was measured between 298 and 1073 K. Activity coefficients, partial and excess thermodynamic functions of uranium in alloys with Ga, Sn and Ga-Sn eutectic were calculated

Keywords: uranium, gallium, tin, gallium-tin eutectic, activity, activity coefficient, solubility, thermodynamics.

Низкоплавкие металлы имеют множество возможных областей применения, в том числе и в пирохимической технологии переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ), где жидкие металлы могут быть использованы для разделения делящихся материалов (урана и трансурановых элементов) и продуктов деления. Процесс разделения в таком случае протекает в системе «жидкая соль — жидкий металл» и эффективность процесса определяется термодинамическими свойствами разделяемых компонентов в солевой и металлической фазе [1]. Однако пирохимическая переработка ОЯТ является, по определению, высокотемпературным процессом. Понижение рабочей температуры может быть достигнуто за счет применения электролитов, основанных на низкоплавких эвтектических солевых смесях или ионных жидкостях, и многокомпонентных низкоплавких металлических сплавов. Однако к настоящему времени изучены лишь двойные системы актинидов с некоторыми легкоплавкими металлами, информация о тройных системах и системах более высокого порядка в литературе ограничена и соответствующие тройные фазовые диаграммы отсутствуют.

Галлий-оловянный эвтектический сплав является одним из наиболее легкоплавких в ряду галлийсодержащих двойных сплавов ($T_{пл} = 293,5$ К). Широкий температурный интервал жидкого состояния делает сплав Ga-Sn привлекательным

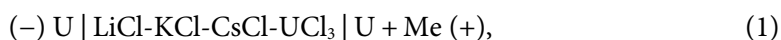
для применения с технологической точки зрения. В литературе имеется ряд работ, посвященных изучению бинарных систем Ga-U и Sn-U, однако данные по фазовой диаграмме и термодинамике тройной системы Ga-Sn-U отсутствуют.

Целью данной работы явилось исследование поведения и определение термодинамических свойств урана в сплавах на основе Ga-Sn. В зависимости от температуры уран в твердом состоянии может быть представлен в виде одной из трех кристаллических модификаций (α , β и γ). В данной работе в качестве стандартного состояния приняты γ -уран (γ -U) и переохлажденный жидкий уран (l-U).

Экспериментальная часть

Активность урана в сплавах на основе Ga-Sn и Sn была определена методом электродвижущих сил (э. д. с.). Методом осаждения интерметаллических соединений (ИМС) определяли растворимость урана по его концентрации в сплаве, равновесном с твердыми интерметаллидами, при заданной температуре. Коэффициенты активности в исследованных системах были рассчитаны по разности активности и растворимости урана при выбранной температуре.

С целью определения активности проводили измерения э. д. с. следующей гальванической ячейки в температурном интервале 573...1073 K:



где Me — легкоплавкий металл (Sn или Ga-Sn_{эвт}). Основная методика проведения экспериментов и конструкция экспериментальной ячейки описана ранее [2]. Низкоплавкая тройная эвтектическая смесь LiCl-KCl-CsCl (57,5 мол. % LiCl и 16,5 мол. % KCl, $T_{\text{пл}} = 536 \text{ K}$) была использована в качестве соли растворителя. Солевую смесь, содержащую хлорид U(III) (около 3...5 мас. % урана), готовили растворением требуемого количества безводного UCl_3 в расплаве LiCl-KCl-CsCl_{эвт}. Галлий-оловянный сплав эвтектического состава (13,5 мас. % Sn [3]) готовили сплавлением индивидуальных металлов (Ga чистотой 99,9999 % и Sn — 99,9995 %) в атмосфере аргона в инертном боксе MBraun Unilab 1200/780. Сплавы, содержащие уран, получали добавлением навесок металлического урана в выбранный сплав (Ga, Sn или Ga-Sn_{эвт}).

Растворимость урана в сплаве Ga-Sn_{эвт} была измерена в интервале температур 296...1073 K методом осаждения интерметаллических соединений из насыщенных сплавов.

Экспериментальная ячейка схематически представлена на рис. 1.

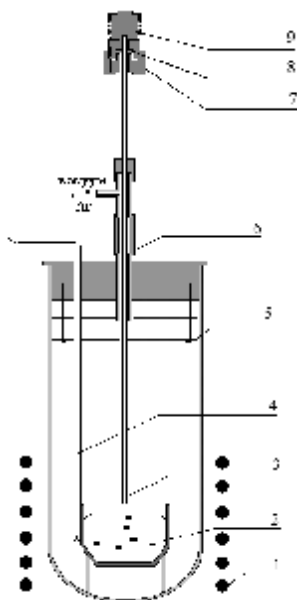


Рис. 1. Экспериментальная ячейка для измерения растворимости урана в жидкометаллических сплавах:

- 1 — печь сопротивления, 2 — тигель со сплавом на кварцевой подставке, 3 — капилляр-пробоотборник, 4 — термопара, 5 — теплоотражающие экраны, 6 — шлюз из вакуумной резины, 7 — накладная гайка, 8 — уплотнительное кольцо, 9 — сильфон

Эксперименты проводили в атмосфере высокочистого аргона (99,998 %). Тигель из оксида бериллия с урансодержащим сплавом (около 70 г) помещали на дно ячейки. Собранную и закрытую ячейку помещали в вертикальную печь, вакуумировали и заполняли аргоном. Для дополнительной очистки атмосферы в ходе эксперимента был организован медленный проток аргона через ячейку. Ячейку нагревали до требуемой температуры. В серии предварительных экспериментов было найдено, что концентрация урана в сплаве становится практически постоянной через 3...6 часов выдержки в зависимости от температуры (773...1073 К). В последующих экспериментах по определению растворимости урана время выдержки для осаждения ИМС было выбрано 8 часов (при низких температурах время выдержки доходило до 64 часов). По истечении выбранного времени, из верхней части жидкометаллической фазы отбирали небольшое количество сплава на анализ. Далее температуру печи понижали на 40...50 градусов, проводили выдержку и вновь производили отбор пробы. Образцы сплава взвешивали, количественно растворяли в смеси азотной и соляной кислот, концентрацию урана в полученных растворах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Результаты и их обсуждение

Растворимость урана в эвтектическом сплаве Ga-Sn

Результаты, полученные в данной работе, представлены на рис. 2. Температурная зависимость растворимости урана в сплаве Ga-Sn имеет изгиб при температуре 476 К и во всем исследуемом температурном интервале описывается двумя уравнениями (2) и (3):

$$\lg X_{U(13,5 \text{ мас. \% Ga-Sn})} = 2,79 - 1,46 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,66), (293 - 476 \text{ K}); \quad (2)$$

$$\lg X_{U(13,5 \text{ мас. \% Ga-Sn})} = -0,02 - 2,77 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,37), (476 - 1076 \text{ K}). \quad (3)$$

Аналогичным образом в таком же интервале температур была определена растворимость урана в галлии, описываемая уравнениями (4) и (5):

$$\lg X_{U(\text{Ga})} = -2,51 - 1,22 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,34), (296,5 - 600 \text{ K}); \quad (4)$$

$$\lg X_{U(\text{Ga})} = 0,41 - 2,95 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18), (600 - 1073 \text{ K}). \quad (5)$$

Полученные данные хорошо согласуются с литературными, полученными для более узких интервалов температур [5, 8]. Растворимость урана в олове в данной работе не определяли, имеющиеся данные представлены на рис. 2.

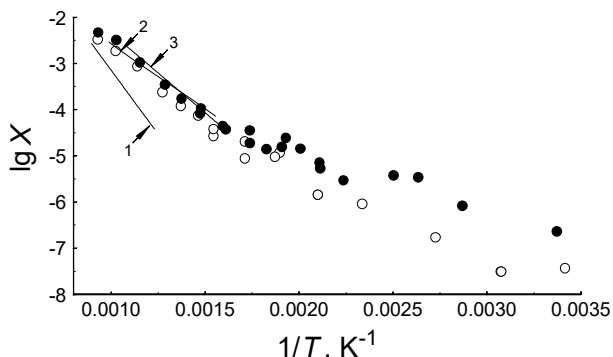


Рис. 2. Растворимость урана, полученная в данной работе в эвтектическом сплаве Ga-Sn (\circ), Ga (\bullet).

Литературные данные: 1 — U-Sn [4], 2-3 — U-Ga [5, 8]

В исследованном температурном интервале растворимость урана в Ga-Sn и чистом галлии выше 520 К практически совпадает. С понижением температуры растворимость урана в Ga-Sn становится заметно ниже, чем в чистом галлии.

Активность урана в эвтектическом сплаве Ga-Sn

Активность урана в системе Ga-Sn была получена методом э. д. с. Активность урана в чистом галлии была получена нами ранее [2]. В настоящей работе была определена активность урана в чистом Sn и в эвтектическом сплаве Ga-Sn.

Экспериментальная зависимость э. д. с. электрохимической ячейки (1) представлена на рис. 3.

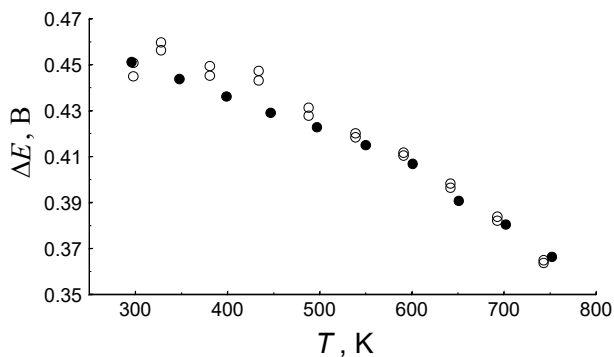


Рис. 3. Экспериментальная зависимость э. д. с. от температуры в сплавах U-Ga-Sn (○) и U-Sn (●), насыщенных по урану. Электрод сравнения — металлический уран. Концентрация урана в металлической фазе 0,1...10 мол. %

Температурные зависимости активности γ -U и переохлажденного жидкого урана в интервале 571...1016 K для сплава Ga-Sn и в интервале 569...1025 K для Sn-U описываются следующими уравнениями:

$$\lg a_{\gamma\text{-U}(13,5 \text{ мас. \% Ga-Sn})} = 3,17 - 8,91 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18); \quad (6)$$

$$\lg a_{l\text{-U}(13,5 \text{ мас. \% Ga-Sn})} = 3,51 - 9,39 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18); \quad (7)$$

$$\lg a_{\gamma\text{-U(Sn)}} = 3,11 - 8,79 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18); \quad (8)$$

$$\lg a_{l\text{-U(Sn)}} = 3,45 - 9,27 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18). \quad (9)$$

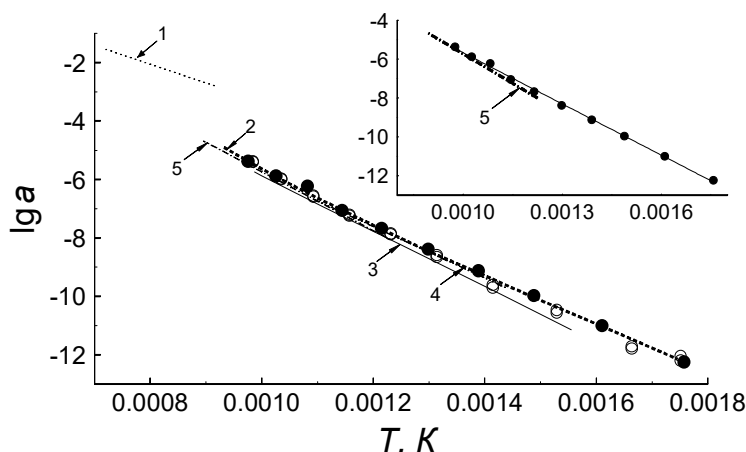


Рис. 4. Активность γ -U в сплавах Ga, Sn, Ga-Sn. Символы — результаты данной работы, полученные в сплавах Ga-Sn (○), Sn (●). Прерывистые линии — литературные данные: 1–4 — U-Ga [5–7, 2], 5 — U-Sn [4]

Полученные результаты представлены на рис. 4, где также приведены данные по растворимости урана в олове и галлии, имеющиеся в литературе. Активность урана в олове ранее была определена только в интервале 813...1117 К также с использованием метода э. д. с. [4]. В настоящей работе активность урана в олове определена в более широком интервале 573...1073 К, полученные результаты хорошо согласуются с литературными. Как видно из рис. 4, активность урана в Ga, Sn и Ga-Sn практически идентична.

Рентгенофазовый анализ ИМС показал, что при комнатной температуре в сплавах Ga-U и Sn-U образуются кубические фазы UGa_3 и USn_3 , соответственно. Параметр кристаллической решетки составляет $4,251 \pm 0,002 \text{ \AA}$ для UGa_3 и $4,607 \pm 0,005 \text{ \AA}$ для USn_3 . Было обнаружено, что в сплавах U-Ga-Sn образуется кристаллическая фаза изоструктурная с UGa_3 , с параметром кристаллической решетки $4,269 \pm 0,004 \text{ \AA}$. UGa_3 и USn_3 изоструктурны (тип $AuCu_3$, пространственная группа $Pm\bar{3}m$) и увеличение параметра кристаллической решетки указывает на то, что в сплаве U-Ga-Sn, по-видимому, образуется твердый раствор $U(Ga,Sn)_3$.

Коэффициенты активности урана в эвтектическом сплаве Ga-Sn

Коэффициенты активности урана в эвтектическом сплаве Ga-Sn были определены по разности температурных зависимостей растворимости и активности урана. Определение растворимости урана в чистом олове в настоящей работе не производили, в качестве температурной зависимости растворимости урана в олове было взято уравнение, опубликованное в работе Кадочникова и др. [4].

Полученные температурные зависимости коэффициентов активности гамма-урана и переохлажденного жидкого урана в температурном интервале 573...1073 К для Ga-Sn, 571...1072 К для Ga и 569...1025 К для Sn описываются следующими уравнениями:

$$\lg \gamma_{\gamma-U(Ga-Sn)} = 0,07 - 1,43 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18); \quad (10)$$

$$\lg \gamma_{l-U(Ga-Sn)} = 3,39 - 6,59 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,18); \quad (11)$$

$$\lg \gamma_{\gamma-U(Ga)} = 2,42 - 5,32 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,42); \quad (12)$$

$$\lg \gamma_{l-U(Ga)} = 2,77 - 5,81 \cdot 10^3 T^{-1} (\pm 0,31); \quad (13)$$

$$\lg \gamma_{\gamma-U(Sn)} = 2,62 - 6,13 \cdot 10^3 T^{-1} + 1,00 \cdot 10^6 T^{-2} (\pm 0,21); \quad (14)$$

$$\lg \gamma_{l-U(Sn)} = 2,96 - 6,61 \cdot 10^3 T^{-1} + 1,00 \cdot 10^6 T^{-2} (\pm 0,21). \quad (15)$$

Коэффициенты активности урана в Ga-Sn, определенные в данной работе, очень близки к коэффициентам активности урана в сплавах U-Ga и U-Sn. Различие в коэффициентах активности урана в галлийсодержащих системах (Ga или Ga-Sn) и в олове возрастает с понижением температуры, рис. 5.

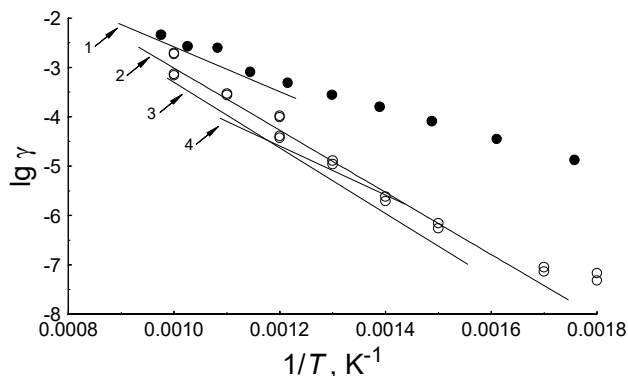


Рис. 5. Коэффициенты активности урана, по результатам данной работы: Ga-Sn (○), Sn (●). Литература: 1 — U-Sn [4], 2-4 — U-Ga [5, 6, 2]

Заключение

Впервые определены термодинамические свойства урана (активность, коэффициенты активности, парциальные и избыточные термодинамические функции) в низкотемпературном эвтектическом сплаве Ga-Sn. Активность урана в сплавах на основе Ga-Sn, Ga и Sn близка, однако коэффициенты активности в жидком Ga и сплаве Ga-Sn_{эвт} значительно ниже, чем в Sn, особенно при низких температурах. Растворимость урана в сплаве Ga-Sn_{эвт} определена по результатам прямых физических измерений. В диапазоне 1073...524 К, растворимость урана в Ga-Sn близка к растворимости в чистом галлии, но при более низких температурах растворимость урана в Ga-Sn становится меньше, чем в чистом галлии.

Благодарность

Данная работа была частично поддержана Министерством образования и науки РФ, проект № Н976.42Г.041/14 и РФФИ, грант № 14-03-31329. Авторы также благодарят Уральский федеральный университет за финансовую поддержку молодым ученым в рамках реализации программы развития УрФУ.

Литература

1. Лебедев В. А. Селективность жидкометаллических электродов в расплавленных галлидах // Металлургия. Челябинск, 1993.
2. Volkovich V. A., Maltsev D. S., Yamshchikov L. F., Melchakov S. Yu., Shchetinskiy A. V., Osipenko A. G., Kormilitsyn M. V. Thermodynamic Properties of Uranium in Ga-In Based Alloys // J. Nucl. Mat. 2013. № 438. P. 94–98.
3. Treick D. A., Carter J. H., Snow A. I., Baldwin R. R., Wilson A. S. // U.S. Atomic Energy Comm. 1945. M-3107.
4. Кадочников В. А., Лебедев В. А., Ничков И. Ф., Распопин С. П. Термодинамические свойства насыщенных по олову сплавов U-Sn // Изв. Акад. Наук СССР. Мет., 1976. № 4. С. 67–69.
5. Johnson I., Feder H. M. Thermodynamics of Nuclear Materials. Vienna: IAEA, 1962. P. 319–331.

6. Лебедев В. А., Серегин В. М., Поярков А. М., Ничков И. Ф., Распопин С. П. Термодинамические свойства жидких сплавов в системе U-Ga // Ж. Физ. Хим. 1973. № 47. С. 712–714.
7. Alcock C. B., Cornish J. B., Grievenson P. Thermodynamics. Vienna: IAEA, 1966. Vol. 1. P. 211–230.
8. Johnson J. R., Chasanov M. G. Uranium Solubility in Liquid Ga, In, Tl and Pb. Trans. ASM. Vol. 56. 1963. P. 272–277.
9. Лебедев В. А. Термодинамические свойства жидких сплавов актинидов и лантанидов // Атомная энергия, 1976. № 41. С. 33–34.
10. Johnson I. Thermodynamics of Plutonium, Thorium and Uranium Metallic Systems, Nuclear Metallurgy // Symposium on Compounds of Interest in Nuclear Reactor Technology. New York: AIME, 1964. Vol. X. P. 171–192.

Е. В. Маслюков, В. А. Палкин

ОЧИСТКА РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА В R-КАСКАДАХ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ОТБОРОМ

Предложен метод очистки регенерированного урана. Он базируется на расчете R-каскадов с промежуточным потоком отбора. В соответствии с разработанным методом рассчитаны R-каскады по различным ключевым компонентам. Лучший из них выбран по критерию максимального потока.

Ключевые слова: *регенерированный уран, очистка загрязненного сырья, R-каскад.*

One proposed a new method of reprocessed uranium refinement. Method based on the calculation of the MARC cascade with intermediate product flow. According to the developed method made calculations for MARC cascades based on different uranium isotopes. Best cascade was chosen using maximum flow criteria.

Keywords: *reprocessed uranium, uranium refinement, MARC.*

Природный уран используется в качестве исходного топлива для атомных энергетических станций. После облучения в реакторе топливо преобразуется в регенерированный уран, также играющий важную роль в ядерно-топливном цикле. Он характеризуется содержанием изотопа ^{235}U , концентрация которого обычно выше, чем в природном.

Основной проблемой использования регенерированного урана в ядерно-топливном цикле является наличие минорных изотопов $^{232}, ^{234}, ^{236}\text{U}$, которые невозможно отделить химическим путем. Два наиболее легких минорных изотопа высоко-радиоактивны, а тяжелый является замедлителем нейтронов, тем самым снижая качество топлива, произведенного из регенерированного урана. Таким образом, для сведения к минимуму радиационной опасности и улучшения качества топлива необходимо снижать концентрацию $^{232}, ^{234}, ^{236}\text{U}$ [1]. С этой целью можно применять каскадную технологию разделения гексафторида урана (UF_6) и операции разбавления.

Известные методики очистки регенерированного урана имеют ряд недостатков. Некоторые из них предполагают получение в каскаде смеси с содержанием ^{235}U более 5 % [2]. Другие требуют подпитки каскада природным ураном [3]. Третьи обеспечивают существенную очистку только от одного из минорных изотопов [4].

В настоящей работе рассмотрен метод очистки регенерированного урана в R-каскаде с одним потоком питания и промежуточным потоком отбора, основанный на методике [5]. Содержание ^{235}U не превышает 5 %. Проведен численный эксперимент на примере нескольких R-каскадов.

Описание математической модели

Принципиальная схема противоточного симметричного каскада, состоящего из n ступеней, представлена на рис. 1.

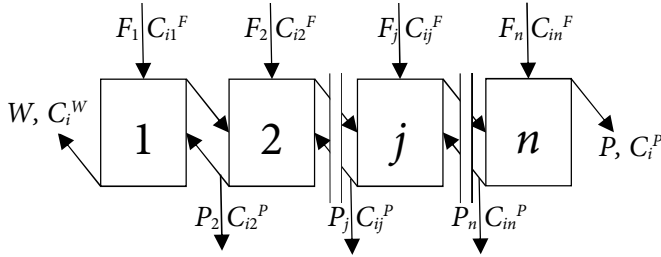


Рис. 1. Схема противоточного симметричного каскада

Здесь W и P — потоки отвала и основного отбора каскада; F_j и P_j — потоки внешнего питания и промежуточного отбора j -й ступени; C_i^W , C_i^P , C_{ij}^P и C_{ij}^F — соответствующие концентрации i -го компонента. Промежуточные потоки P_j отбираются из потоков отвала ступеней. При отсутствии одного или нескольких потоков отбора они задаются нулевыми. Общее число независимых внешних и внутренних параметров каскада на рис. 1 составляет $n(m+2) - 1$.

Согласно методике [5] срезы парциальных потоков представляются в виде:

$$\varphi_{ij} = \dot{L}_{ij}' / L_{ij} = \sigma_j q_{ij} / (1 + \sigma_j q_{ij}), \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где σ_j — коэффициенты, определяющие соотношение между коэффициентами обогащения компонентов в отвале и отборе j -й ступени. Для любого i -го компонента отбора j -й ступени можно записать:

$$\begin{aligned} L_{ij+1}'' - \dot{L}_{ij}' &= (1 - \varphi_{ij+1}) L_{ij+1} - \varphi_{ij} L_{ij} = \tau_{ij+1}, \quad j = \overline{1, n-1}; \\ L_{i1}'' &= (1 - \varphi_{i1}) L_{i1} = \tau_{i1}; \\ \dot{L}_{in}' &= \varphi_{in} L_{in}, \end{aligned} \quad (2)$$

где τ_{ij+1} — транзитный поток i -го компонента смеси в сечении перед $(j+1)$ -й ступенью в направлении отвала. Величина транзитного потока:

$$\tau_{i1} = W C_i^W, \quad \tau_{ij+1} = W C_i^W - \sum_{s=1}^j (F_s C_{is}^F - P_{s+1} C_{is+1}^P), \quad j = \overline{1, n-1}. \quad (3)$$

Парциальный поток для i -го компонента в питании j -й ступени будет равен

$$L_{ij} = \frac{1}{\varphi_{ij}} \sum_{l=1}^j \tau_{il} \prod_{s=l}^j \frac{\varphi_{is}}{1 - \varphi_{is}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в выражение (2) при $j = n$ можно рассчитать парциальный поток i -го компонента на отвале каскада W_i :

$$W_i = WC_i^W = \sum_{j=1}^n \left[(F_j C_{ij}^F - P_{j+1} C_{ij+1}^P) \frac{1 + \sum_{l=j+1}^n \prod_{s=l}^n \frac{\varphi_{is}}{1 - \varphi_{is}}}{1 + \sum_{l=1}^n \prod_{s=l}^n \frac{\varphi_{is}}{1 - \varphi_{is}}} \right], \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Парциальный поток i -го компонента на отборе определяется из уравнений баланса:

$$P_i^P = PC_i^P = \sum_{j=1}^n (F_j C_{ij}^F - P_{j+1} C_{ij+1}^P) - W_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Используя выражения (1)–(6) можно рассчитать парциальные потоки всех компонентов смеси по числу ступеней n при заданных параметрах σ_j , q_{ij} и характеристикам питания, а также отборов F_j , P_j , C_{ij}^F , C_{ij}^P ($i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$). Остальные параметры каскада определяются по найденным парциальным потокам. Концентрации изотопа в промежуточных потоках отбора C_{ij}^P определяются с использованием итеративной процедуры, описанной в методике [5], и не являются независимыми параметрами.

В частном случае отсутствия промежуточных отборов и одного внешнего питания приведенные соотношения аналогичны формулам Ямамото-Канагава [6] для трехпоточного каскада. При использовании одинаковых σ_j по ступеням выражения (1)–(6) описывают квазиидеальный каскад. Частным случаем квазиидеального является R-каскад [7], характеризующийся несмещением по относительным концентрациям ключевых компонентов.

Расчеты

Были проведены расчеты нескольких R-каскадов с одним промежуточным отбором по различным парам ключевых компонентов. Исходные данные рассчитываемых каскадов: $n = 51$, $F_{45} = 10$ г/с, $C_{232}^F = 1,5 \cdot 10^{-7}$ %, $C_{234}^F = 1,6 \cdot 10^{-2}$ %, $C_{234}^F = 0,85$ %, $C_{234}^F = 0,35$ %. Номер ступени промежуточного отбора k изменялся от 2 до 45. P_k изменялся от 1 г/с до 5 г/с с шагом в 0,1 г/с. Коэффициенты σ_j одинаковы по ступеням. Во всех каскадах концентрация ^{235}U в отборе не превышала 5 %.

Промежуточный отбор R-каскада подается на питание трехпоточного каскада, который рассчитывается с помощью известных аналитических формул [8]. Заданы концентрации ^{235}U на отборе и отвале трехпоточного каскада: 4,4 и 0,3 % соответственно. Кроме того, в отборе ограничено содержание изотопов ^{232}U и ^{234}U — $1 \cdot 10^{-8}$ % и $4,8 \cdot 10^{-2}$ % соответственно.

Результаты расчетов

Качественный анализ расчетов показал, что концентрация изотопов $^{232-236}\text{U}$ в смеси снижается с увеличением потока промежуточного отбора и с уменьшением номера ступени промежуточного отбора. Одновременно при уменьшении номера ступени промежуточного отбора уменьшается максимальное значение потока, которое

можно отобрать из ступени. Таким образом, при каждой величине потока P_k промежуточного отбора существует оптимальный номер ступени, при котором поток отбора трехпоточного каскада будет максимален с учетом принятых ограничений. Графики зависимостей максимальных потоков отбора трехпоточного каскада P_2 от P_k представлены на рис. 2.

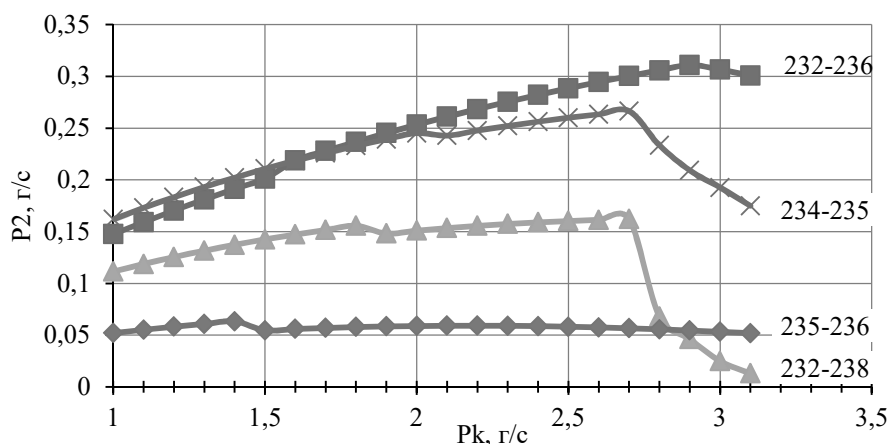


Рис. 2. Зависимость максимальных потоков отбора трехпоточного каскада от потока промежуточного отбора

С увеличением P_k содержание ^{236}U в потоке отбора ординарного каскада растет (рис. 3). Снижая поток отбора, можно существенно уменьшить концентрацию ^{236}U . Например, концентрация ^{236}U в R-каскаде по компонентам $^{232}, ^{238}\text{U}$ уменьшается более чем на 16 % при снижении потока всего на 4 %.

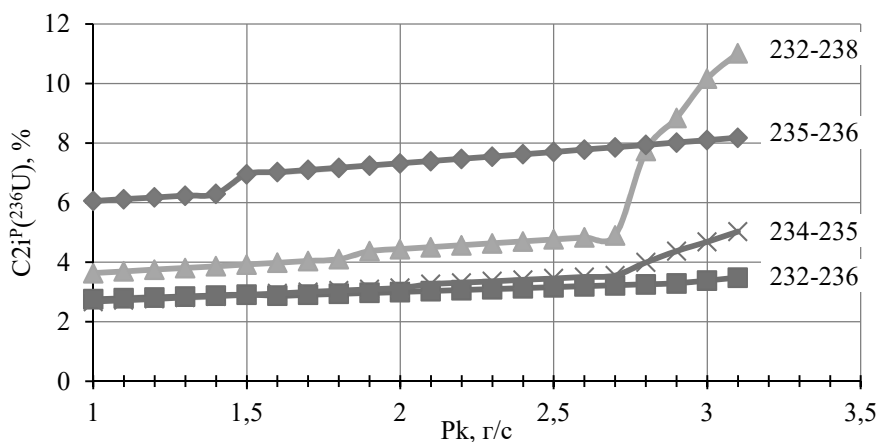


Рис. 3. Зависимость концентрации ^{236}U в отборе трехпоточного каскада от потока промежуточного отбора

Заключение

Описанный метод позволяет очищать регенерированный уран от изотопов ^{232}U , ^{234}U с использованием R-каскада и трехпоточного. Метод не требует подпитки дополнительным сырьем и позволяет рассчитывать каскады при условии поддержания концентрации ^{235}U не выше 5 % в потоках отбора.

Литература

1. Никителов Б. В., Никителов В. Б. Судьбы уранового регенерата // Бюлл. по атомной энергии. 2002. № 9. С. 34–43.
2. Власов А. А., Водозаских В. В., Мазин В. И. и др. Способ изотопного восстановления регенерированного урана: пат. 2236053 Рос. Федерация; 10.09.2004. Изобретения. Полезные модели: бюл. 2004. № 25. С. 562.
3. Сулаберидзе Г. А., Борисевич В. Д., Цюаньсинь Се. Квазиидеальные каскады с дополнительным потоком для разделения многокомпонентных изотопных смесей // Теоретические основы химической технологии. 2006. Т. 40. № 1. С. 7–16.
4. Палкин В. А. Очистка регенерированного урана в каскадах с обогащением ^{235}U до 5 % // Атомная энергия. 2013. Т. 115. Вып. 1. С. 28–33.
5. Палкин В. А., Маслюков Е. В. Расчет каскада с несколькими питаниями и отборами по срезам парциальных потоков // Атомная энергия. 2012. Т. 112. Вып. 5. С. 309–313.
6. Yamamoto I., Kanagawa A. Multicomponent Isotope Separating Cascade Composed of Elements with Large Separation Factors // J. Nucl. Scien. and Techn. 1987. V. 15(8). P. 580–584.
7. Изотопы: свойства, получение, применение / под ред. В. Ю. Баранова. М.: ИздАТ, 2000.
8. Палкин В. А., Маслюков Е. В. Аналитические оценки содержания изотопов слабообогащенного регенерированного урана в многопоточных оптимальных каскадах // Атомная энергия. 2009. Т. 107. Вып. 6. С. 345–348.

И. С. Медянкина, Л. А. Пасечник, И. Н. Пягай, Н. А. Сабирзянов,
С. П. Яценко

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ МАСШТАБНОГО ПОЛУЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СКАНДИЯ ИЗ ОТХОДА ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глиноземными предприятиями накоплено большое количество отходов — красных шламов, переработка которых не внедрена до настоящего времени нигде в мире. В статье представлена технология извлечения скандия из красных шламов с получением продуктов разной степени чистоты. Оработка технологии на опытно-промышленном участке показала ее перспективность и экономическую эффективность. Масштабирование получения оксида скандия из шламов глиноземного производства открывает новый сырьевой ресурс редких металлов.

Ключевые слова: *красный шлам, скандий, технология, извлечение, концентрирование, разделение, радиоактивность, опытно-промышленный участок.*

Alumina plants have accumulated large amounts of waste — red mud, which recycling has not been implemented yet anywhere in the world. The aim of our investigation is to develop the technology of scandium extracting from the red mud with the obtaining of products of different purity. The adjustment of the technology in the industrial plot showed its prospectivity and economic efficiency. The scaled obtaining of scandium oxide from bauxite residue opens a new raw material resource of rare metals.

Keywords: *red mud, alumina, scandium, technology, extraction, concentration, separation, radioactivity, experimental-industrial plot.*

В условиях отсутствия в России собственной промышленной базы редких металлов, в частности скандия, актуальной является задача создания эффективных ресурсосберегающих технологий извлечения ценных компонентов при одновременной утилизации экологически опасных техногенных образований. Красные шламы — отходы глиноземного производства каждым заводом — «миллионником» выводятся в количествах до 1,5 млн. тонн в год в шламоотвалы, которые общепризнанно относятся к техногенным месторождениям. Эти отвалы занимают огромные площади, превращая близлежащие территории в зоны экологического бедствия, а их строительство и содержание обходится в миллиарды рублей.

Ежегодно в мире образуется практически 150 млн тонн шламов, с содержанием скандия до 120...150 г Sc_2O_3 на 1 тонну шлама. Это количество в сотни раз больше содержания скандия в подземных водах выщелачивания урана — одного из первых промышленных источников скандия в СССР. Масштабные объемы получающихся в промышленности красных шламов с прогнозами увеличения мощностей

глиноземных предприятий позволяют отнести эти отходы к одним из богатых источников скандия.

В то же время глиноземные заводы являются источником тепловых газовых выбросов от печей спекания и кальцинации, содержащих до 12...18 % CO_2 , а также NO , SO_2 . Выбросы углекислого газа при кальцинации гидроксида алюминия и извести только на одном алюминиевом заводе производительностью 1 млн. тонн глинозема в год составляют не менее 600 тыс. тонн. Нейтрализация шламовой пульпы с высокой щелочностью, поглощение токсичных печных газовых выбросов с целью извлечения ценного редкого металла скандия — являются отличительными особенностями эффективной инновационной технологии получения соединений скандия из красных шламов, разрабатываемой в ИХТТ УрО РАН.

В химическом плане технология основана на способности скандия образовывать растворимые карбонатные комплексы, в то время как основные макрокомпоненты шлама — железо, алюминий, кальций, кремний — показывают свою инертность в условиях газовой карбонизации шламовой пульпы. Технологически барботаж отходящими газами глиноземного цеха легко осуществляется в емкостях совместимых с содощелочным оборудованием, что не выходит за рамки основного производства. В результате нейтрализации каустическая щелочь красного шлама и подшламовой воды переходит в карбонатную и гидрокарбонатную. Получаемый карбонатно-гидрокарбонатный скандийсодержащий раствор используется многократно для насыщения скандием из новых порций шлама до концентрации не менее 50 мг Sc_2O_3 в 1 дм^3 раствора. При такой обработке образующихся отвальных шламов существенным является снижение токсичности щелочных шламовых полей за счет уменьшения значения pH с $> 10,5$ до $< 8,5$. Аппаратурная и технологическая схема блока извлечения скандия из красных шламов является уникальной и запатентована авторским коллективом [1].

Наиболее широко рассматриваемые и разрабатываемые ранее методы с использованием минеральных кислот (серной, соляной, азотной) требуют кислотоустойкого оборудования и предполагают частичное, а часто практически полное, вскрытие шлама, что следовательно, увеличивает расход кислот на растворение сопутствующих макроэлементов. Эти приемы позволяют получать сложные многокомпонентные растворы, содержащие миллиграммы скандия и десятки граммов в литре примесей [2, 3].

Сернокислотное вскрытие шлама, содержащего в макроэлементном составе, мас. %: 40...45 Fe_2O_3 ; 12...15 Al_2O_3 ; 7...10 SiO_2 ; 8...12 CaO ; 3...5 Na_2O ; 4...6 TiO_2 ; 1...2 MgO ; 1...2 P_2O_5 , с целью селективного извлечения скандия наталкивает на необходимость подбора условий, исключающих образование нерастворимых сульфатов — загипсовывания пульпы. Одновременное растворение соединений железа, алюминия и других элементов значительно увеличивает солевой фон, что не способствуют селективному извлечению скандия или другого ценного компонента из состава шлама. Так, например, определенных удовлетворительных условий

селективного извлечения скандия при выборе кислот (серной, соляной, азотной, в том числе и отработанных травильных растворов) для вскрытия красных шламов Днепропетровского алюминиевого завода не было выявлено [4]. Лишь показано, что выбор кислоты играет существенную роль, а снижение солевого фона сопровождается значительным снижением степени извлечения скандия — не более 30 % в сернокислом 25 %-ом растворе по сравнению с максимально возможной — до 90 % в солянокислом растворе. При вскрытии шлама 75 %-ым раствором серной кислоты концентрация скандия в растворе достигает максимальной величины 30 мг/дм³ с извлечением 71 %. Извлечение макрокомпонентов — железа, алюминия, титана составляет более 60 % каждого, и 0,01 % кремния. Использование 25 %-го раствора серной кислоты способствует снижению солевого фона с увеличением извлечения кремния до 55 %, но степень извлечения скандия уменьшается более чем в 2 раза. Таким образом, для повышения содержания скандия или другого целевого элемента в растворе вскрытия необходимо исходно брать более богатое сырье. При этом будет наблюдаться снижение соотношения концентраций интересующих и примесных компонентов.

Ранее сернокислотное вскрытие сырья было предложено нами после проведения предварительного обогащения. В результате физического обогащения из красного шлама был получен магнитный редкометалльный концентрат с содержанием оксида скандия до 350 г/т. Дополнительное использование классификации и химической активации увеличило содержание скандия до 400 г/т. Вскрытие такого концентрата также происходило частично, при этом в раствор переходили > 70 % Al₂O₃ и Sc₂O₃. Были выбраны условия исключения «загипсовывания» осадка при работе с разбавленной 74...100 г/дм³ серной кислотой [5]. Но и в этом случае извлечение скандия составило около 50 % и иттрия — 75 %. Сульфатные растворы после удаления скандия упаривали до содержания солей 60...65 % с получением коагулянта с содержанием оксида алюминия (15,8 %) и оксида трехвалентного железа (0,7 %).

Дальнейшая переработка бедных скандийсодержащих растворов требует предварительного концентрирования с получением черного концентрата и далее богатого. Эти процессы осуществляются, как правило, сорбционными методами или жидкостной экстракцией из кислотных сред. К недостаткам кислотных методов вскрытия помимо агрессивного воздействия этих сред на оборудование и ухудшение экологии, можно отнести сложность совмещения с глиноземным производством кислотных технологических процессов.

При относительно невысокой степени извлечения скандия (около 20 %) карбонизационная обработка красного шлама является перспективной и уже отрабатывается ООО «Техногория» в опытно-промышленном масштабе на территории ОАО «БАЗ-СУАЛ». В промышленных аппаратах испытаны реактивная и газовая карбонизация пульпы с получением черного первого скандиевого концентрата с содержанием скандия до 5 % Sc₂O₃ (рис. 1). Показано, что в результате карбонизации, адсорбированные на поверхности частиц шлама растворимые соединения

скандия, а также титана и циркония натрия могут быть разрушены такой обработкой. Эти металлы накапливаются в оборачиваемых растворах до приемлемых концентраций, что позволяет после предварительной очистки раствора получить концентрат с использованием операции нейтрализации. Основными примесными компонентами черного концентрата являются — железо, титан, цирконий, кремний, натрий, кальций. Количество примесей зависит от условий предварительной очистки карбонатного раствора, а также условий нейтрализации [6].



Рис. 1. Карбонизация шламовой пульпы в условиях ОПУ

Разработаны условия получения богатого концентрата скандия в сернокислых средах также с использованием гравиметрических приемов и ограниченного круга доступных реагентов. Содержание скандия в таком продукте в пересчете на Sc_2O_3 достигает 30 % при суммарном количестве примесей металлов не более 10 %, остальное — анионы осадителя.

Первоначально внедряемая технология получения черного концентрата с использованием осадителя в укрупненных опытных условиях оказалась неприемлемой из-за повышенного выделения радионуклидов [7]. При использовании носителя-цинка показатель отношения $\Sigma A_{\text{уд}}/A_{\text{табл}}$ превышает 1 и достигает величины 2,06, где $\Sigma A_{\text{уд}} = U^{238-233} + \text{Ra}^{226} + \text{Ra}^{228} + \text{Th}^{228} + \text{Ra}^{224}$ — сумма удельной активности по радионуклидам черного концентрата скандия и $A_{\text{табл}}$ — табличное значение по приложению П-4 НРБ-99. Такой продукт по нормам относится к твердым радиоактивным отходам. Внесение технологически значимых изменений в более укрупненных условиях отработки способа позволило избежать загрязнения концентрата ураном, торием и другими активными изотопами, что не было очевидно при малых лабораторных исследованиях.

Концентраты скандия, полученные в укрупненном масштабе, также прошли проверку на радиоактивность. Величина отношения $\Sigma A_{\text{уд}}/A_{\text{табл}}$ концентратов, полученных с использованием разных осадителей при варьировании условий, не превышала 0,39, т. е. данные продукты не относятся к категории твердых радиоактив-

ных отходов. Кроме того, примесный состав полученных концентратов позволяет достичь чистоты прокаленного продукта 98...99 % по Sc_2O_3 уже в результате 2-3 последовательных операций осаждения. После прокалки этот богатый скандиевый продукт был опробован для получения легированного алюминиевого сплава с хорошим выходом скандия в металл и незначительным загрязнением по примесям.

Отработка лабораторных приемов в условиях опытного участка показала перспективность и хорошую экономическую эффективность разработанной технологии извлечения скандия с получением скандиевых концентратов разной степени чистоты (рис. 2). За счет использования таких классических, хорошо отработанных методов, как гидролиз, высаливание, осаждение и прокалка, резко упрощается селективное выделение скандия и получение скандиевого концентрата даже в виде оксида марки ОС-99.



Рис. 2. Опытные партии концентратов скандия

На основании опытных испытаний получения скандиевого концентрата из красных шламов глиноземного производства ветви Байера ОАО «БАЗ-СУАЛ» выполнено ТЭО при годовом объеме производства — 5000 кг 99 % Sc_2O_3 . Себестоимость 1 кг оксида скандия без учета используемых отходов не превысит 300...400 \$, что значительно ниже существующих цен на рынке металлов.

Внедрение в промышленном масштабе разработанной инновационной технологии позволит в стратегическом плане вывести Свердловскую область, имеющую два глиноземных завода, на существенно более высокий экономический уровень. Поскольку показывает возможность организации производства редких металлов, сплавов и изделий, которые уже используются в самых высокотехнологичных областях металлургии, электроники, электротехники. Небольшие добавки скандия позволяют получить алюминиевые сплавы с высокими эксплуатационными характеристиками. По соотношению прочности к плотности они превосходят не менее чем в полтора раза все известные высокопрочные, в том числе и титановые сплавы. Скандий является незаменимым компонентом радиационно-стойких железоникелевых сплавов для атомного реакторостроения. Скандий используется для создания лазерных кристаллов, сверхпроводников, магнитных материалов для элементов постоянной памяти ЭВМ и др.

Однако крупномасштабное использование скандия сдерживается высокой ценой этого металла, что обусловлено незначительными масштабами мирового производства и сложной существующей технологией. Курс на модернизацию и ин-

новации, несомненно, даст конкурентное преимущество Уральскому региону перед другими субъектами — открывается новый неиспользуемый сырьевой ресурс редких металлов в России; кроме того, вовлекаются в переработку крупномасштабные техногенные отходы цветной металлургии.

Литература

1. Пат. 2483131 РФ, С1 С22В59/00, С22В3/04, С22В3/20, С01F17/00. Способ получения оксида скандия из красного шлама / Пягай И. Н., Яценко С. П., Пасечник Л. А., заявитель и патентообладатель ИХТТ УрО РАН, — № 2011153456/02; заявл. 26.12.2011; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 15.
2. Комиссарова Л. Н. Неорганическая и аналитическая химия скандия. М.: Эдиториал УРСС, 2006. 512 с.
3. Коришунов Б. Г., Резник А. М., Семенов С. А. Скандий. М.: Металлургия, 1987. 184 с.
4. Николаев И. В., Захарова В. И., Хайруллина Р. Т. Кислотные способы переработки красных шламов. Проблемы и перспективы // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2000. № 2. С. 19–26.
5. Пат. 2140998 РФ, С1 С22В7/00, С22В59/00. Способ переработки красного шлама / Линников О. Д., Яценко С. П., Сабирзянов Н. А., заявитель и патентообладатель ИХТТ УрО РАН, — № 98122283/02; заявл. 07.12.1998; опубл. 10.11.1999, Бюл. № 21.
6. Пасечник Л. А., Пягай И. Н., Скачков В. М., Яценко С. П. Извлечение редких элементов из отвального шлама глиноземного производства с использованием отходящих газов печей спекания // Экология и промышленность России. 2013. Июнь. С. 36–38.
7. Пат. 2247788 РФ, С1 С22В59/00, С22В3/04, С22В3/20, С01F17/00. Способ получения оксида скандия из красного шлама / Яценко С. П., Сабирзянов Н. А., Пасечник Л. А., Рубинштейн Г. М., Диев В. Н., Скрыбнева Л. М., заявитель и патентообладатель ИХТТ УрО РАН, — № 2003119050/02; заявл. 24.06.2003; опубл. 10.03.2005.

Е. А. Митенкова, А. С. Саркисова, А. С. Дедюхин, А. В. Щетинский

РАВНОВЕСНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ГАДОЛИНИЯ, ГОЛЬМИЯ И ЭРБИЯ В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ РАСПЛАВЕ ХЛОРИДОВ ЛИТИЯ, КАЛИЯ И ЦЕЗИЯ

Методом квазистационарных потенциометрических измерений ЭДС определены условные стандартные потенциалы для гадолиния, гольмия, эрбия в расплаве эвтектической смеси хлоридов лития, калия, цезия относительно хлорного электрода сравнения в интервале температур 700...978 К. Оценены значения энтальпии смешения трихлоридов РЗМ с солю-растворителем.

Ключевые слова: *редкоземельные металлы, гадолиний, гольмий, эрбий, потенциометрия, условный стандартный потенциал, солевые расплавы.*

Formal standard electrode potentials of gadolinium, holmium and erbium were determined in (Li-K-Cs) Cl eutectic melt between 700...978 K employing quasi-stationary potentiometric measurements. EMF was measured vs. chloride reference electrode. In addition the enthalpy of mixing REM chlorides with the solvent melt was estimated.

Keywords: *rare earth metals, gadolinium, holmium, erbium, formal standard electrode potential.*

Редкоземельные металлы (РЗМ) в больших количествах применяются в различных областях науки и техники. Широкое применение РЗМ основано на ряде уникальных физических и химических свойств. Например, гадолиний, гольмий и эрбий востребованы в ядерной промышленности, медицине, при производстве различных типов лазеров и оптоволоконной техники.

Из-за высокой химической активности металлических лантаноидов получение их из водных растворов затруднено. В промышленности РЗМ получают методами металлотермии и электролизом расплавленных сред. Основным исходным сырьем для электролитического получения РЗМ являются их галогениды, и в частности хлориды. В качестве соли растворителя для проведения электролиза используют хлориды щелочных металлов и их смеси.

Разработка и совершенствование технологических операций электролитического получения и рафинирования РЗМ требует всесторонних сведений о физико-химических характеристиках солевых расплавов, содержащих редкоземельные элементы, в частности электрохимических и термодинамических свойствах.

В данной работе были определены условные стандартные потенциалы для гадолиния, гольмия и эрбия в расплаве эвтектической смеси хлоридов лития, калия и цезия относительно хлорного электрода сравнения.

Экспериментальная часть

Для определения условных стандартных потенциалов металлов в расплавленных солях, как правило, используют метод электродвижущих сил (ЭДС). Однако известно, что РЗМ с высокой скоростью растворяются в хлоридных расплавах [1–3] и, следовательно, непосредственное измерение равновесных потенциалов РЗМ в таких системах при сравнительно высоких температурах трудноосуществимо.

Нестационарные методы являются достаточно быстрыми. Их использование для измерения равновесных потенциалов РЗМ позволяет свести к минимуму негативное влияние побочных процессов, в том числе и коррозии РЗМ, на результаты измерений. В настоящей работе для определения условных стандартных потенциалов гадолиния ($E_{\text{Gd}^{3+}/\text{Gd}}^*$), гольмия ($E_{\text{Ho}^{3+}/\text{Ho}}^*$) и эрбия ($E_{\text{Er}^{3+}/\text{Er}}^*$) в эвтектическом расплаве хлоридов лития, калия и цезия использовали метод, описанный в [4, 5].

Равновесные потенциалы Gd, Ho и Er измеряли методом квазистационарных потенциометрических измерений ЭДС гальванического элемента



Потенциометрию при нулевом токе проводили в стандартной трехэлектродной ячейке [5]. Схема экспериментальной ячейки приведена на рис. 1.

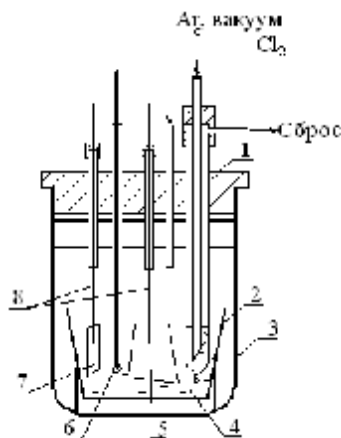


Рис. 1. Схема ячейки для потенциометрических исследований:

- 1 — хлорный электрод сравнения (ХЭС); 2 — алундовый тигель; 3 — кварцевая ячейка;
- 4 — расплав исследуемой соли; 5 — анод из стеклоуглерода; 6 — термопара в кварцевом чехле; 7 — молибденовая пластинка; 8 — молибденовые токоподводы

Исходные солевые плавы, содержащие 4,0...4,9 мас. % хлорида РЗМ получали хлорированием оксида РЗМ в расплаве хлороводородом [6].

Хлор получали электролизом расплавленного хлорида свинца в отдельном аппарате. Для исключения попадания паров свинца и его хлорида в ХЭС, хлор предварительно пропускали через барботер с олеумом.

В качестве рабочего электрода использовали пластину из молибдена. Противоэлектродом служил стеклоуглерод. Измерения потенциала рабочего электрода проводили относительно хлорного электрода сравнения.

При заданной температуре проводили кратковременную поляризацию (10...20 с) молибденового катода при потенциале $-3,25$ В и измеряли квазистационарный потенциал пары Ln^{3+}/Ln в зависимости от времени. Для измерения использовали потенциостат/гальваностат «Autolab 302N» с программным обеспечением GPES 4.9. Типичный вид зависимости «потенциал—время» представлен на рис. 2.

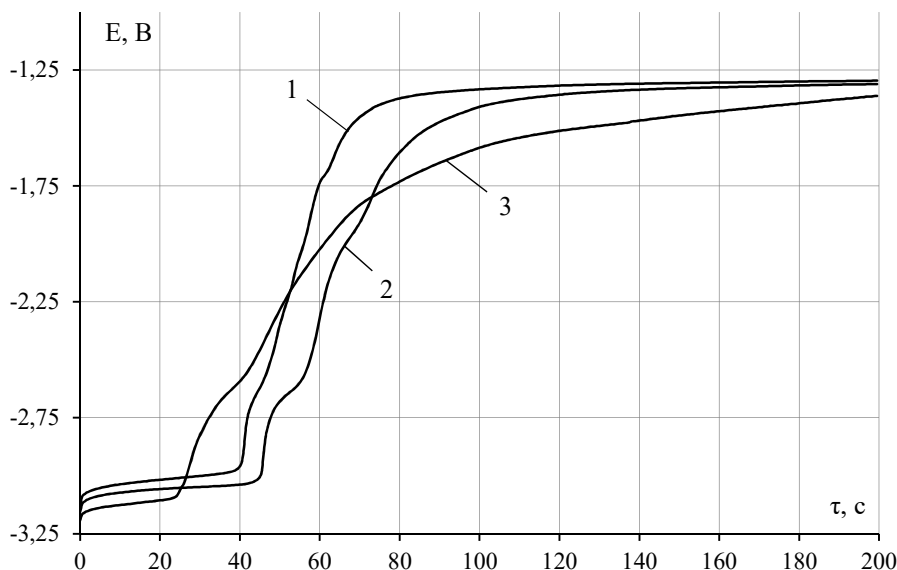


Рис. 2. Зависимости «потенциал—время», полученные после кратковременной поляризации молибденового катода в расплаве $(\text{Li-K-Cs}) \text{Cl}_{\text{эвт}}\text{-GdCl}_3$ (концентрация GdCl_3 — 4,05 мас. %). Время поляризации: 20 с. Температура, К:
1 — 920, 2 — 829, 3 — 700

На полученной хронопотенциометрической кривой выделяли горизонтальный линейный участок и рассчитывали на нем среднее значение потенциала. Полученные значения соответствовали равновесным потенциалам Ln^{3+}/Ln относительно хлорного электрода сравнения в тройной эвтектике $(\text{Li-K-Cs}) \text{Cl}_{\text{эвт}}$.

Условный стандартный потенциал может быть рассчитан по формуле [7]

$$E_{\text{Ln}^{3+}/\text{Ln}}^* = E_{\text{Ln}^{3+}/\text{Ln}} - \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln[\text{Ln}^{3+}].$$

Результаты и обсуждение

По описанной методике были получены данные о значениях равновесных потенциалов гадолиния, гольмия и эрбия в температурных интервалах 700...920, 751...976 и 708...978 К соответственно.

Полученные значения условного стандартного потенциала пары Gd^{3+}/Gd согласуются с ранее опубликованными значениями (рис. 3).

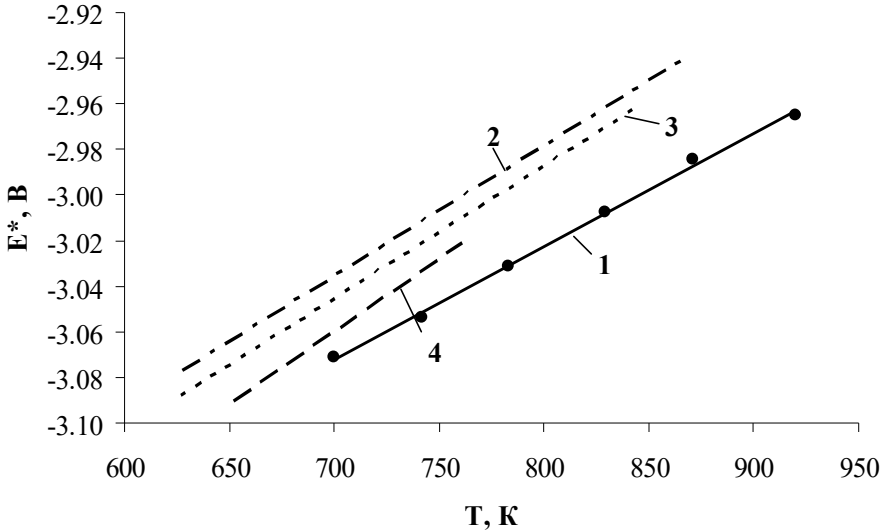


Рис. 3. Температурные зависимости условного стандартного потенциала Gd: 1 — в (Li-K-Cs) $Cl_{эвт}$ [н. п.], 2 — в (Li-K) $Cl_{эвт}$ [7], 3 — в (Li-K) $Cl_{эвт}$ [8], 4 — в (Li-K) $Cl_{эвт}$ [9]

На рис. 3 видно закономерное увеличение условного стандартного потенциала с ростом среднего радиуса катиона соли-растворителя.

Экспериментальные данные для гадолиния, обработанные методом наименьших квадратов представлены в виде линейного уравнения

$$E_{Gd^{3+}/Gd}^* = -(3,42 \pm 0,01) + (5,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \cdot T \pm 0,002, \text{ В (700...920 К)}$$

Результаты опытов с использованием расплавов, содержащих хлориды гольмия и эрбия, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Равновесные и условные стандартные потенциалы гольмия и эрбия в эвтектическом расплаве хлоридов лития, калия и цезия

T, К	$E_{Ho^{3+}/LHo}, \text{ В}$	$E_{Ho^{3+}/Ho}^*, \text{ В}$	T, К	$E_{Er^{3+}/Er}, \text{ В}$	$E_{Er^{3+}/Er}^*, \text{ В}$
708	-3,136	-3,065	751	-3,093	-3,015
754	-3,114	-3,039	786	-3,084	-3,003
780	-3,101	-3,023	829	-3,074	-2,988
828	-3,072	-2,990	873	-3,060	-2,970
876	-3,055	-2,967	933	-3,036	-2,940
931	-3,032	-2,938	976	-3,016	-2,914
978	-2,996	-2,898			

На основе полученных данных были рассчитаны уравнения температурных зависимостей условных стандартных потенциалов гольмия и эрбия:

$$E_{\text{Ho}^{3+}/\text{Ho}}^* = -(3,49 \pm 0,02) + (6,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} \cdot T \pm 0,005, \text{ В (708...978 K)};$$

$$E_{\text{Er}^{3+}/\text{Er}}^* = -(3,35 \pm 0,02) + (4,44 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} \cdot T \pm 0,004, \text{ В (751...976 K)}.$$

Полученные значения условных стандартных потенциалов гадолиния, гольмия и эрбия позволяют рассчитать энергию Гиббса образования их трихлоридов из компонентов в данном расплаве:

$$\Delta G_{\text{GdCl}_3(\text{расп.})}^* = -(990 \pm 2) + (0,144 \pm 0,003) \cdot T, \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{\text{HoCl}_3(\text{расп.})}^* = -(1011 \pm 5) + (0,174 \pm 0,005) \cdot T, \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{\text{ErCl}_3(\text{расп.})}^* = -(970 \pm 5) + (0,128 \pm 0,006) \cdot T, \text{ кДж/моль}.$$

Сопоставление рассчитанной энергии Гиббса образования со стандартной [11–12] соответственно для каждого элемента позволяет оценить энтальпии смешения трихлоридов РЗМ с солью-растворителем: $\overline{\Delta H}_{\text{GdCl}_3(\text{см})}^* = -77 \text{ кДж/моль};$
 $\overline{\Delta H}_{\text{HoCl}_3(\text{см})}^* = -91 \text{ кДж/моль};$ $\overline{\Delta H}_{\text{ErCl}_3(\text{см})}^* = -67 \text{ кДж/моль}.$

Величины тепловых эффектов смешения указывают на упрочнение связей между Ln^{3+} и Cl^- при растворении индивидуальных солей в $(\text{Li-K-Cs}) \text{Cl}_{\text{эвт}}$ за счет образования комплексных группировок типа $[\text{LnCl}_6]^{3-}$.

Литература

1. Васин Б. Д., Иванов В. А., Нарцицын А. В., Распопин С. П., Щетинский А. В. Коррозия редкоземельных металлов цериевой группы в расплавленной эквимольной смеси хлоридов натрия и калия // Расплавы. 1998. № 6. С. 76–80.
2. Волкович А. В., Лязгин Б. И., Потапенко О. Г. Поведение лантана в расплаве эквимольной смеси хлоридов калия и натрия // Изв. вузов. Цв. Metallургия. 1973. № 1. С. 101–103.
3. Школьников С. Н., Толыпин Е. С., Юрьев Б. П. Исследования поведения электродов из лантана и иттрия в хлоридных расплавах // Изв. вузов. Цв. Metallургия. 1984. № 3. С. 55–59.
4. Smolenski V., Novoselova A., Osipenko A., Kormilitsyn M., Lukyanova Ya. Thermodynamics of Separation of Uranium from Neodymium between the Gallium-Indium Liquid Alloy and the LiCl-KCl Molten Salt Phases // Electrochimica Acta. 2014. 133. P. 354–358.
5. Novoselova A. V., Smolenskii V. V. Electrochemical and Thermodynamic Properties of Lanthanides (Nd, Sm, Eu, Tm, Yb) in Alkali Metal Chloride Melts // Radiochemistry. 2013. Vol. 55, No. 3. P. 243–256.
6. Dedyukhin A. S., Ivanov V. A., Melchakov S. Yu., Shchetinskii A. V., Volkovich V. A., Yamshchikov L. F., Osipenko A. G., Raspopin S. P., Kormilitsyn M. V. Activity Coefficients and Solubility of Lanthanum and Praseodymium in Gallium-Indium Eutectic Alloy // ECS Transactions. 2012. Vol. 50. Issue 11. P. 507–515.
7. Смирнов М. В. Электродные потенциалы в расплавленных хлоридах. М.: Наука, 1973. 247 с.

8. *Lantelme F., Cartailier T., Berghoute Y., Hamdani M.* Physicochemical Properties of Lanthanide and Yttrium Solutions in Fused Salts and Alloy Formation with Nickel // *J. Electrochem. Soc.* 2001. Vol. 148. P. C604—C615.
9. *Picard G. S., Mottot Y. E., Tremillon B. L.* Acidic and Redox Properties of Some Lanthanide Ions in Molten LiCl-KCl Eutectic // *Electrochemical Society Extended Abstracts.* 1985. Vol. 85-2. P. 709.
10. *Fusselman S. P., Roy J. J., Grimmett D. L.* Thermodynamic Properties for Rare Earths and Americium in Pyropartitioning Process Solvents // *J. Electrochem. Soc.* 1999. Vol. 146. P. 2573—2580.
11. *Верятин У. Д., Маширов В. П., Рябцев Н. Г., Тарасов В. И.,. Rogozkin B. D., Коробов И. В.* Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник // под ред. А. П. Зефирова / М.: Атомиздат, 1965. 460 с.
12. HSC Chemistry version 6.12. Software. Outotec Oy. 2007.

А. Д. Никитин, И. Одинаев, С. Е. Щеклеин

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ТАДЖИКИСТАНА

Целью данного исследования является анализ структуры фотоэлектрической станции (ФЭС) и стоимости вырабатываемой энергии применительно к Таджикистану. Рассмотрены три варианта использования ФЭС: автономная, резервирующая центральную сеть, и совмещенная с дизельным генератором. Предложена методика оптимизации структуры оборудования ФЭС, совмещенной с дизельным генератором.

Ключевые слова: *фотоэлектрическая станция, автономная ФЭС, гибридная ФЭС, резервная ФЭС.*

The aim of this study is to analyze the structure of the photovoltaic power station (PVS) and the cost of the energy produced in relation to Tajikistan. Are considering three variants of the use of PVS: autonomous, reserves the central power grid, and combined with a diesel generator. Proposes a methodology to optimize the structure of PVS equipment, combined with diesel generator.

Keywords: *photovoltaic power station, independent PVS, hybrid PVS, PVS reserve.*

До 2010 г. существовала объединенная энергосистема (ОЭС), включающая Таджикистан, Узбекистан, Казахстан, Киргизию и Туркменистан. Таджикистан присоединился к ОЭС через Узбекистан и, после выхода Узбекистана из системы, также отсоединился от ОЭС, в результате чего возник дефицит электроэнергии. Электричество в северных и южных частях Таджикистана стали подавать по времени. С ноября по апрель электроснабжение от центральной энергосистемы осуществляется только в утренние часы с 6:00 до 10:00 и в вечерние — с 18:00 до 22:00. В отдаленных регионах, например в Дашти-Джум, центральное электроснабжение отсутствует.

Вместе с этим, приход солнечной радиации на территории Таджикистана является высоким: более 7 кВт·ч/(м²·сут) в течение летних месяцев и 4,64 кВт·ч/(м²·сут) среднегодовой. Поэтому в Таджикистане возможно широкое применение фотоэлектрических станций (ФЭС) для электроснабжения.

Целью данного исследования является технико-экономический анализ структуры ФЭС, спроектированной для применения в Таджикистане. Также рассматриваются варианты оптимизации структуры ФЭС.

Рассчитывается ФЭС мощностью $N = 1$ кВт с суточной выработкой электроэнергии $W = 8$ кВт·ч, что соответствует энергопотреблению частного дома [1], для применения в Душанбе (Таджикистан, 38,6° с. ш.).

Принципиальная схема автономной ФЭС изображена на рис. 1.

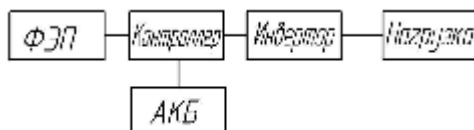


Рис. 1. Принципиальная схема ФЭС

На рис. 2 изображен годовой график прихода солнечной радиации для Душанбе на горизонтальную поверхность и на поверхность, расположенную в каждом месяце под оптимальным углом наклона.

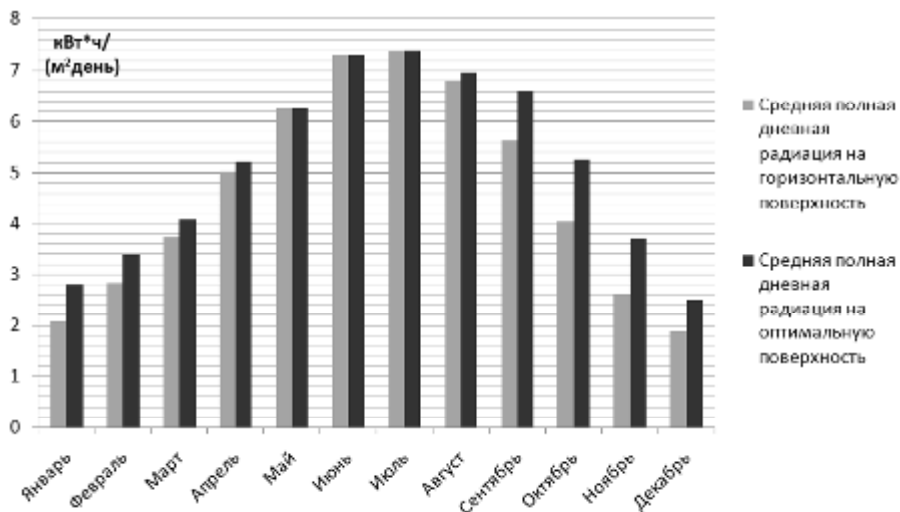


Рис. 2. Приход солнечной радиации на горизонтальную и оптимальную поверхности для Душанбе

Для создания ФЭС выбрано следующее оборудование [2]:

- фотоэлектрический модуль Exmork ФСМ 300М, номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 24$ В, рабочий ток $I_p = 8,33$ А, КПД $\eta_{\text{фэп}} = 16$ %, стоимость — 330 \$;
- аккумуляторная батарея Batbear 190 А/ч 6СТ-190, емкость $C_{\text{ак}} = 190$ А·ч, номинальное напряжение $U_{\text{акб}} = 12$ В, стоимость — 145 \$;
- инвертор Exmork 1200 Вт, DC/AC 24/220 В, модифицированный синус, стоимость — 89 \$;
- контроллер CM60 60 А 12V/24V auto switch, максимальный ток $I_k = 60$ А, стоимость — 172 \$.

При расчете капитальных вложений в ФЭС стоимость опор для ФЭП рассчитывалась как 10 % от стоимости ФЭП. Стоимость монтажа ФЭС принималась равной 10 % стоимости ФЭП.

Стоимость электроэнергии, вырабатываемой ФЭС, рассчитывается следующим образом. Издержки на амортизацию ФЭС рассчитываются с учетом срока службы каждого элемента ФЭС. Срок службы фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) принимается $T_{\text{фэп}} = 25$ лет, срок службы АКБ $T_{\text{акб}} = 5$ лет, срок службы

контроллера $T_{\text{контр}} = 10$ лет, срок службы инвертора $T_{\text{инв}} = 10$ лет. Амортизационные издержки рассчитываются по формуле

$$I_a = \frac{n_{\text{фэп}} \cdot \Pi_{\text{фэп}}}{T_{\text{фэп}}} + \frac{n_{\text{акб}} \cdot \Pi_{\text{акб}}}{T_{\text{акб}}} + \frac{n_{\text{контр}} \cdot \Pi_{\text{контр}}}{T_{\text{контр}}} + \frac{n_{\text{инв}} \cdot \Pi_{\text{инв}}}{T_{\text{инв}}}, \quad (1)$$

где n_i — количество i -того оборудования, Π_i — стоимость единицы i -того оборудования.

Издержки на ремонт ФЭС: $I_{\text{рем}} = 0,1 \cdot I_a$.

Издержки при использовании ФЭС: $I_{\text{ФЭС}} = I_a + I_{\text{рем}}$.

Стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ФЭС: $C_{\text{ФЭС}} = \frac{I_{\text{ФЭС}}}{365 \cdot W}$.

Удельные капиталовложения для ФЭС составят $K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{сум}}}{n_{\text{фэп}} \cdot P_{\text{фэп}}}$, где $K_{\text{сум}}$ —

суммарные капитальные вложения в ФЭС, $P_{\text{фэп}}$ — мощность одного фотоэлектрического преобразователя.

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) ФЭС:

$$\text{КИУМ}_{\text{ФЭС}} = \frac{W}{24 \cdot n_{\text{фэп}} \cdot P_{\text{фэп}}}.$$

В табл. 1 представлены результаты расчетов для автономной ФЭС, оптимизированной для каждого из четырех времен года (т. е. вырабатывающей заданное количество энергии во время года, определяющее состав оборудования ФЭС, в другие времена года вырабатываемое количество энергии отличается от заданного).

Таблица 1

Результаты расчетов для автономной ФЭС

Время года, определяющее структуру ФЭС	Зима	Весна	Лето	Осень
Количество ФЭП, шт.	20	12	7	15
Количество АКБ, шт.	102	74	40	92
Количество контроллеров, шт.	4	2	2	3
Количество инверторов, шт.	1	1	1	1
Капитальные вложения в ФЭС, \$	22 167	15 123	8543	18 895
Стоимость электроэнергии, \$/кВт·ч	1,15	0,82	0,45	1,02
Удельные капитальные вложения в ФЭС, \$/кВт	3 695	4 201	4 068	4 199
КИУМ _{ФЭС} , %	5,55	9,25	15,86	7,40
Доля АКБ в стоимости ФЭС, %	67	71	68	71

Как видно из табл. 1, стоимость электроэнергии, вырабатываемой ФЭС, является высокой. Стоимость электроэнергии в Таджикистане равняется 0,023 \$/кВт·ч [3]. Таким образом, электроэнергия, вырабатываемая ФЭС, в 20...50 раз дороже электроэнергии, получаемой из сети. Удельные капитальные вложения в ФЭС в 2 раза выше вложений в установки традиционной энергетики,

которые составляют около 2 тыс. \$/кВт. Низкий КИУМ ФЭС объясняется большой установленной мощностью ФЭП.

Одной из причин высокой стоимости электроэнергии, вырабатываемой автономной ФЭС, является наличие большого количества АКБ, которые имеют высокую стоимость и ограниченный ресурс использования, приводящий к частой замене АКБ, что увеличивает стоимость электроэнергии.

Т. к. в Таджикистане существует дефицит электроэнергии, то целесообразно использовать ФЭС для электроснабжения при отключениях центральной сети. В этом случае необходима такая емкость АКБ, которая обеспечит суточные потребности в энергии. Расчет ФЭС, резервирующей центральную сеть, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расчет ФЭС, работающей при отключениях центральной сети

Время года, определяющее структуру ФЭС	Зима	Весна	Лето	Осень
Количество ФЭП, шт.	20	12	7	15
Количество АКБ, шт.	4	4	4	4
Количество контроллеров, шт.	4	2	2	3
Количество инверторов, шт.	1	1	1	1
Капитальные вложения в ФЭС, \$	7957	4973	3323	6135
Удельные капитальные вложения в ФЭС, \$/кВт	1326	1381	1582	1363
Стоимость электроэнергии, \$/кВт·ч	0,18	0,12	0,09	0,14

Как видно из табл. 2, стоимость электроэнергии в данном случае значительно снизилась по сравнению с автономной ФЭС и стала в 4...8 раз дороже электроэнергии из сети. Удельные капитальные вложения стали меньше вложений в установки традиционной энергетики.

Снизить стоимость вырабатываемой автономной ФЭС электроэнергии можно при использовании дополнительного источника энергии вместо АКБ большой емкости. Выработка электроэнергии с помощью дизельного генератора (ДГ) при недостатке солнечной радиации дешевле, чем хранение энергии в АКБ. В свою очередь, в расходах на ДГ значительную часть занимает стоимость топлива. ФЭС топлива не потребляет, и, при достаточном приходе солнечной радиации, вырабатываемая ФЭС электроэнергия будет дешевле энергии, производимой ДГ. Таким образом, использование ФЭС совместно с ДГ позволяет создать гибридную электростанцию, для которой стоимость производимой электроэнергии будет ниже стоимости энергии, производимой только за счет Солнца на ФЭС или только за счет сжигания топлива на ДГ. Кроме этого, использование АКБ для выравнивания графика потребляемой мощности позволит ДГ работать в стационарном режиме, в результате чего увеличатся эффективность и ресурс ДГ. Принципиальная схема гибридной станции изображена на рис. 2.



Рис. 2. Схема гибридной станции (ФЭС совместно с ДГ)

В составе ФЭС целесообразно иметь АКБ такой емкости, которая позволит сгладить неравномерность между суточным приходом солнечной радиации и потреблением электроэнергии. Для определения емкости АКБ необходимо сопоставить график нагрузки, для которой проектируется гибридная станция, и суточный график выработки электроэнергии ФЭС. На рис. 3 изображены типичный график нагрузки и типичные суточные графики прихода солнечной радиации в летний и зимний дни для широты Душанбе. Все значения нормированы по отношению к графику нагрузки (т. е. площадь под кривой всех графиков совпадает).

Количество энергии, которое необходимо запасти в АКБ, равняется разности между количеством вырабатываемой и количеством потребляемой энергии, на графике это площадь между кривой выработки мощности ФЭС и кривой потребления мощности нагрузкой. Отношение количества энергии, запаасаемого в АКБ, к суммарному суточному потреблению энергии можно назвать коэффициентом неравномерности потребления энергии. Для графика, изображенного на рис. 3, коэффициент неравномерности для летнего периода $k_{\text{неравн.л}} = 0,3$; для зимнего периода $k_{\text{неравн.з}} = 0,6$. Для весеннего и осеннего периодов можно принять среднее значение $k_{\text{неравн.в}} = k_{\text{неравн.о}} = 0,45$.

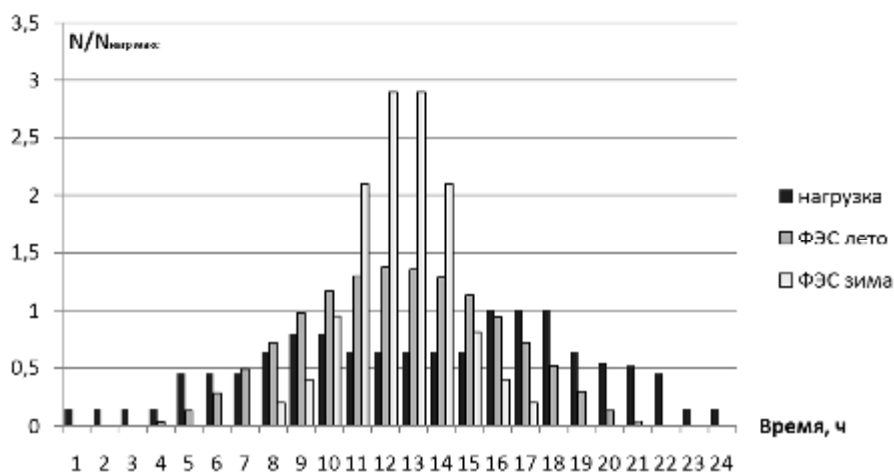


Рис. 3. Суточные графики потребления и выработки мощности

Таким образом, при заданном энергопотреблении нагрузки W емкость АКБ

вычисляется по формуле $C_{\text{акб}} = \frac{W \cdot k_{\text{неравн}}}{\eta_{\text{инв}} \cdot k_{\text{разр}} \cdot U_{\text{акб}}}$, где $\eta_{\text{инв}}$ — коэффициент полезного

действия (КПД) инвертора, $k_{разр}$ — степень разряда АКБ (в дальнейших расчетах принимается равной 50 %), $U_{акб}$ — напряжение АКБ.

Число АКБ вычисляется по формуле $n_{акб} = \frac{U_{фэс} \cdot C_{акб}}{U_{акб} \cdot C_{ак}}$, где $U_{фэс}$ — напряжение

ФЭС, $C_{ак}$ — емкость одного аккумулятора.

Число ФЭП определяется следующим образом:

$$n_{фэп} = \frac{W}{J_i \cdot \eta_{фэп} \cdot \eta_{инв} \cdot S_{фэп} \cdot (1 - k_{пот.акб} \cdot k_{неравн})},$$

где J_i — среднесуточный приход солнечной радиации в i -тый месяц, $S_{фэп}$ — площадь ФЭП, $\eta_{фэп}$ — КПД ФЭП, $k_{пот.акб}$ — коэффициент, учитывающий потери в АКБ (в расчетах принимается равным 10 %).

Число контроллеров для ФЭС рассчитывается по формуле: $n_k = \frac{n_{фэп} \cdot I_p}{I_k}$,

где I_p — рабочий ток ФЭП, I_k — допустимый ток через контроллер.

Результаты расчетов структуры оборудования ФЭС для гибридной станции для Душанбе представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет вариантов ФЭС для гибридной станции

Вариант	Расчетный месяц	$k_{неравн}$	$n_{фэп}$	$n_{акб}$	n_k	$n_{инв}$	Стоимость ФЭС, \$	Стоимость электроэнергии ФЭС, \$/кВт·ч
1	Январь	0,6	10	4	1	1	4801	0,10
2	Февраль	0,6	8	4	1	1	4009	0,09
3	Март	0,5	7	2	1	1	3323	0,07
4	Апрель	0,45	4	2	1	1	2135	0,05
5	Май	0,4	4	2	1	1	2135	0,05
6	Июнь	0,3	4	2	1	1	2135	0,05
7	Июль	0,3	4	2	1	1	2135	0,05
8	Август	0,3	4	2	1	1	2135	0,05
9	Сентябрь	0,4	5	2	1	1	2531	0,06
10	Октябрь	0,45	6	2	1	1	2927	0,06
11	Ноябрь	0,5	8	2	1	1	3719	0,07
12	Декабрь	0,6	11	4	2	1	5369	0,11

Сравним ФЭС с дизельным генератором. Стоимость дизельного генератора «Kipor KDE 2200X» мощностью 2 кВт составляет 730 \$ [4]. Примем стоимость установки генератора, покупки и установки топливной емкости равной 70 % от стоимости генератора. Стоимость дизельного топлива (стоимость покупки в Таджикистане [5] и транспортировки) примем $C_{топ} = 0,91$ \$/л.

Издержки для дизельного генератора: $I_{де} = 1,5 \frac{K}{365 \cdot T_{сл}}$, где 1,5 — коэффициент,

учитывающий издержки на обслуживание ДГ (в данном случае 50 % от аморти-

зационных издержек), K — капитальные вложения для ДГ, T_{cl} — срок службы ДГ в годах.

Затраты на топливо для дизельного генератора за сутки $C_{топ.дз} = W \cdot G \cdot C_{топ.дз}$, где G — удельный расход топлива ДГ.

$$\text{Стоимость электроэнергии, производимой ДГ: } C_{дз} = \frac{C_{топ.дз} + I_{дз}}{W}.$$

Стоимость электроэнергии, производимой ДГ, составила 0,38 \$/кВт·ч. Т. к. стоимость электроэнергии, вырабатываемой ФЭС, ниже стоимости электроэнергии, получаемой на ДГ, то использование ФЭС совместно с ДГ в Душанбе целесообразно.

Суточные затраты для гибридной станции будут складываться из суточных затрат ФЭС и суточных затрат ДГ. Затраты ФЭС — это издержки ФЭС, они остаются постоянными в течение года. Затраты ДГ зависят от количества электроэнергии, произведенного ДГ в каждом варианте гибридной системы. Это количество равно разности между суточным потреблением электроэнергии и количеством энергии, выработанным на ФЭС. Затраты ДГ вычисляются как произведение количества выработанной энергии на ДГ на стоимость ее производства.

Результаты расчета стоимости производства электроэнергии для гибридной станции приведены в табл. 4.

Таблица 4

Среднегодовая стоимость производства электроэнергии для гибридной станции

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Стоимость, \$/кВт·ч	0,18	0,17	0,16	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,19	0,17	0,15	0,18

Как видно из табл. 4, необходимо использовать структуру гибридной станции для варианта № 11 (расчетный месяц — ноябрь). Среднегодовая стоимость производства электроэнергии составит 0,15 \$/кВт·ч. Капитальные вложения в гибридную станцию составят 4960 \$. Удельные капиталовложения составят 936 \$/кВт, что в 2,1 раза меньше удельных вложений в установки традиционной энергетики. Срок окупаемости гибридной системы по отношению к автономному ДГ составит 5,5 лет.

Необходимо отметить, что стоимость дизельного топлива в Таджикистане относительно высокая. Таким образом, при создании автономной ФЭС для круглогодичного использования оборудование ФЭС используется с низкой эффективностью, капитальные вложения и стоимость вырабатываемой электроэнергии являются чрезвычайно высокими.

При использовании ФЭС для резервирования центральной сети стоимость вырабатываемой энергии значительно снижается по сравнению с автономной ФЭС, но остается выше стоимости электроэнергии из сети. Использование ФЭС для резервирования центральной сети целесообразно, если стоимость энергии от ФЭС ниже стоимости энергии, получаемой от других источников. Для Таджикистана

ФЭС являются одним из наиболее дешевых источников энергии по причине высокого прихода солнечной радиации и могут получить широкое распространение.

При включении в состав автономной ФЭС дополнительного источника для энергоснабжения в периоды с низким приходом солнечной радиации требуется меньшее количество оборудования и достигается значительное снижение капитальных вложений и стоимости вырабатываемой электроэнергии. В Таджикистане, в условиях дефицита электроэнергии, использование ФЭС с дополнительным источником энергии является перспективным направлением.

Литература

1. Велькин В. И., Щеклеин С. Е. Обеспечение минимальных энергетических потребностей удаленного дома за счет солнечных ФЭП // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 52–54.
2. Солнечные батареи (модули, панели). [Электронный ресурс]. URL: <http://invertory.ru/category/solnechnye-batarei/>.
3. Тарифы на электроэнергию в Таджикистане. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dialog.tj/news/oakhk-barki-tochik-v-tadzhikistane-povyshilis-tarify-na-elektroenergiyu>.
4. Дизельный генератор Kipor KDE2200X. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tk-kipor.ru/products/generators/open/0/18/>.
5. Стоимость дизельного топлива в Таджикистане. [Электронный ресурс]. URL: http://ru.globalpetrolprices.com/Tajikistan/diesel_prices/.

С. Н. Орлов, М. М. Костин, Р. В. Фоменков, Ю. В. Цапко

СОЗДАНИЕ СТЕНДОВ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ФМ-1

В ходе работы созданы специальные стенды нейтронного облучения на основе рабочих источников нейтронов. Определен энергетический спектр и плотность нейтронных потоков. Стенд использован для изучения физико-химической стабильности кремнийорганической жидкости ФМ-1.

Ключевые слова: *нейтронное облучение, физико-химическая стабильность, кремнийорганическая жидкость*

During the work, the special stands of neutron irradiation are created on the basis of working neutron sources. The energy spectrum and flux density of neutron radiation are detected. The stand used to study physico-chemical stability of the silicone fluid FM-1.

Keywords: *neutron irradiation, physical-chemical stability, silicone fluid.*

В ходе проведения работ по созданию перспективных ядерных энергетических установок специалистами ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» было проведено исследование нового класса радиационно-стойких жидкостей для вспомогательных систем — метилфенилсилоксановых масел, в частности жидкости ФМ-1.

Жидкость ФМ-1 представляет собой смесь 1,3,5-триметил-1,1,3,5,5-пентафенилтрисилоксана (линейный тример, 70 % по массе) и 1,3,5,7-тетраметил-1,1,3,5,7,7-октафенилтетрасилоксана (линейный тетрамер, 30 % по массе) с примесями 1,3-диметил-1,1,3,3-тетрафенилдисилоксана (линейный димер) и 1,3,5-триметил-1,3,5-трифенилциклотрисилоксана (циклический тример). Интерес к данной жидкости обусловлен комплексом ее уникальных свойств: высокой температурой кипения, низкой упругостью паров при рабочих температурах, незначительным коррозионным воздействием на конструкционные материалы, слабой активацией под воздействием нейтронного потока [1–3].

В 2013 году авторами данной работы, была исследована устойчивость жидкости ФМ-1 по отношению к нагреванию и γ -излучению. Было показано, что при заданных уровнях воздействия, силоксановая жидкость сохраняет стабильность химического состава и физико-химических свойств. Полученные результаты подтвердили применимость ФМ-1 во вспомогательных системах ЯЭУ.

Следующим этапом изучения радиационной стойкости ФМ-1 являлось исследование стабильности жидкости при монофакторном воздействии нейтронного потока. Решение поставленной задачи потребовало создания специализированного

стенда, позволяющего проводить нейтронное облучение исследуемых образцов в отсутствии реакторного гамма-излучения.

В качестве источника нейтронов для стенда было предложено использовать рабочий источник нейтронов типа 55НК252М12.29 на основе изотопа ^{252}Cf , находящийся в НИТИ на хранении. Данное предложение позволило не только создать востребованный в отрасли инструмент исследования физико-химических свойств материалов, но и рационализировать использование дорогостоящего рабочего источника нейтронов, выгруженного из реакторной установки.

Создание специализированного стенда нейтронного облучения на основе рабочего источника нейтронов типа 55НК252М12.29 включало следующие этапы:

- Разработку конструкторских решений и изготовление стенда нейтронного облучения.
- Определение энергетического спектра нейтронов стенда.

Принципиальная схема стенда нейтронного облучения представлена на рис. 1.

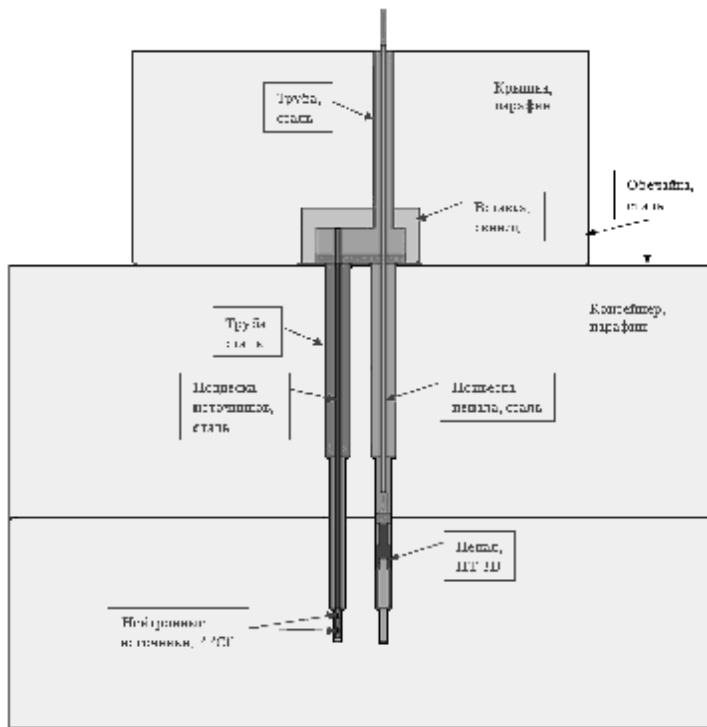


Рис. 1. Принципиальная схема стенда нейтронного облучения

Основой стенда является контейнер хранения источника и сам источник. Контейнер представляет собой емкость большого объема, заполненную парафином, в которой имеются два канала. При проведении облучения, в один из каналов стенда помещают исследуемые образцы, в другой — рабочий источник нейтронов.

Использование созданного стенда для проведения исследовательских работ потребовало определение его энергетического спектра нейтронов. Расчет плотности потоков нейтронов проводился с использованием прецизионного кода MCNP, реализующего метод Монте-Карло. Источником ядерно-физических констант являлась библиотека ENDF/B-VII, при подготовке сечений в формате MCNP (в непрерывном по энергии представлении) использовались шаблоны входных данных модулей NJOY. В результате расчета были получены плотности потоков нейтронов (в 300-групповом представлении) в свободном и заполненном жидкостью ФМ-1 объеме пенала. Рассчитанные энергетические спектры нейтронов представлены на рис. 2.

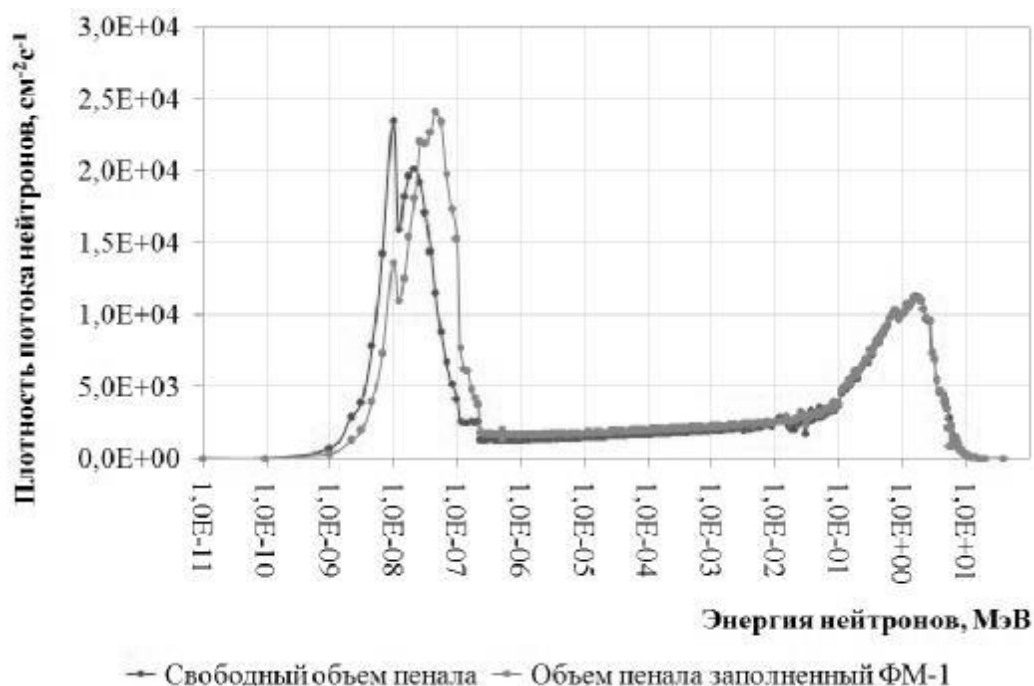


Рис. 2. Энергетический спектр нейтронов стенда

В результате интегрирования рассчитанного энергетического спектра получено, что поток тепловых нейтронов при облучении образцов на стенде составляет $2,5 \cdot 10^5$ нейтр./($\text{см}^2 \cdot \text{с}$), промежуточных — $4,0 \cdot 10^5$ нейтр./($\text{см}^2 \cdot \text{с}$), быстрых — $3,8 \cdot 10^5$ нейтр./($\text{см}^2 \cdot \text{с}$).

Верификация расчетных результатов осуществлялась путем их сравнения с экспериментально определенными активностями нуклидов, образовавшихся при нейтронной активации на стенде облучения растворов неорганических солей и активационных мишеней из набора АКН-Т. Экспериментальные результаты и соответствующие им расчетные значения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные результаты и результаты расчетного моделирования

Реакция	Облучаемая мишень	Положение мишени в пенале*	Активность активированного нуклида на момент окончания облучения, Ки	
			расчетная	экспериментальная
$^{63}\text{Cu} (n,\gamma) ^{64}\text{Cu}$	Медь (2Cu/159)	«лежа»	$7,2 \cdot 10^{-9}$	$6,8 \cdot 10^{-9}$
$^{63}\text{Cu} (n,\gamma) ^{64}\text{Cu}$	Медь (2Cu/160)	«основное»	$7,1 \cdot 10^{-9}$	$6,6 \cdot 10^{-9}$
$^{197}\text{Au} (n,\gamma) ^{198}\text{Au}$	Золото (2Au/560)	«лежа»	$8,6 \cdot 10^{-9}$	$9,3 \cdot 10^{-9}$
$^{197}\text{Au} (n,\gamma) ^{198}\text{Au}$	Золото (2Au/556)	«основное»	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$
$^{58}\text{Ni} (n,p) ^{58}\text{Co}$	Раствор солей Ni	–	$6,9 \cdot 10^{-10}$	$5,1 \cdot 10^{-10}$
$^{24}\text{Mg} (n,p) ^{24}\text{Na}$	Раствор солей Mg	–	$4,2 \cdot 10^{-10}$	$4,2 \cdot 10^{-10}$

* «лежа» — параллельно дну канала, «основное» — перпендикулярно

Из сравнительного анализа активностей нуклидов, приведенных в табл. 1, видно, что экспериментальные и расчетные значения полностью согласуются между собой с учетом погрешности измерений. Таким образом, проведенная верификация расчетных результатов подтверждает адекватность определения нейтронно-физических условий облучения на стенде.

После определения нейтронно-физических условий облучения, созданный стенд был использован для исследования радиационной устойчивости образцов жидкости ФМ-1 при монофакторном действии нейтронного потока. Для этого, образцы жидкости помещали в специальные пеналы (емкости), изготовленные из слабоактивируемого материала — титанового сплава ПТ-3В. Пеналы герметизировали и продували аргоном. Давление аргона в пеналах перед облучением составляло от 0,23 до 0,24 МПа. Облучение образцов проводилось в статических условиях при температуре $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

В табл. 2 представлены условия облучения пяти образцов жидкости ФМ-1.

Таблица 2

Условия облучения проб жидкости ФМ-1

Образец		P1H	P2H	P3H	P4H	P5H
Масса образца жидкости, г		40,01	39,99	39,99	39,99	40
Время облучения, ч		168	339	676	1487	2299
Флюенс нейтронов, нейтр./см ²	тепловых (0,005...0,5 эВ)	$1,5 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$6,0 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{12}$
	промежуточных (0,5 эВ...200 кэВ)	$2,4 \cdot 10^{11}$	$4,9 \cdot 10^{11}$	$9,8 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{12}$
	быстрых (0,2...14 МэВ)	$2,3 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^{11}$	$9,2 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{12}$	$3,1 \cdot 10^{12}$

Максимальный набранный флюенс нейтронов равнялся $8,4 \cdot 10^{12}$ нейтр./см², в том числе $3,1 \cdot 10^{12}$ нейтр./см² по быстрым нейтронам (для образца P5H). После завершения облучения образцов проводилось исследование их физико-химических свойств (плотности, вязкости) и химического состава.

Измерение плотности образцов жидкости проводилось гравиметрическим (весовым) методом с использованием лабораторных электронных весов 1-го класса

точности ЛВ-210. Измерение кинематической вязкости проб жидкости проводилось с использованием капиллярных стеклянных вискозиметров ВПЖ-2. Результаты измерений физико-химических свойств исходной жидкости ФМ-1 и облученных образцов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерения вязкости и плотности проб жидкости ФМ-1

Образец	Плотность при 20 °С, кг/м ³	Вязкость кинематическая при заданной температуре, мм ² /с				
		20 °С	38 °С	50 °С	70 °С	99 °С
Исходная жидкость	1076	267	68	36	17,0	8,1
P1H	1092	261	67	36	16,9	7,9
P2H	1070	276	68	36	17,0	8,0
P3H	1087	284	68	37	17,0	8,0
P4H	1083	260	68	37	17,7	8,0
P5H	1086	281	68	37	17,1	8,0

Представленные в табл. 3 результаты измерений, свидетельствуют о том, что в инертной атмосфере воздействие потока нейтронов до флюенса $8,4 \cdot 10^{12}$ нейтр./см² не оказывает влияния на физико-химические свойства образцов жидкости ФМ-1.

Исследование химического состава облученных образцов проводили на жидкостном хроматографе, собранном с использованием элементов хроматографа «Стайер» (насос высокого давления, петлевой инжектор Rheodyne 7710, программно-аппаратный комплекс сбора и обработки хроматографической информации «МультиХром») и УФ-детектора UVV-104V. Разделение исследуемых компонентов проводили на обращенно-фазовой колонке фирмы «Phenomenex» «Luna C-18 5 мкм, 150×4,6 мм». Условия хроматографического разделения компонентов образцов кремнийорганической жидкости ФМ-1: элюент — 100 % ацетонитрил, расход элюента — 1 мл/мин, объем петли — 20 мкл. Измерения проводили при длине волны источника — 254 нм.

Химический состав образцов исходной жидкости ФМ-1 и облученных образцов представлен в табл. 4.

Таблица 4

Химический состав проб жидкости ФМ-1

Вещество		Бензол	Цикл. тример	Лин. димер	Лин. тример	Лин. тетрамер
Относительное содержание компонента, мас. %	Исходная ФМ-1	0,07*	0,06 ± 0,01	0,45 ± 0,09	90 ± 9	9,2 ± 1,4
	P1H	0,07*	0,05 ± 0,01	0,44 ± 0,09	89 ± 9	9,1 ± 1,4
	P2H	0,06*	0,05 ± 0,01	0,44 ± 0,09	88 ± 9	9,0 ± 1,4
	P3H	0,08*	0,05 ± 0,01	0,43 ± 0,09	88 ± 9	9,2 ± 1,4
	P4H	0,07*	0,07 ± 0,01	0,46 ± 0,09	90 ± 9	9,2 ± 1,4
	P5H	0,07*	0,05 ± 0,01	0,44 ± 0,09	88 ± 9	9,1 ± 1,4

Результаты измерений, представленные в табл. 4, позволяют сделать вывод о том, что действие потока нейтронов до флюенса $8,4 \cdot 10^{12}$ нейтр./см² на образцы жидкости ФМ-1 в инертной атмосфере не приводит к заметным изменениям их химического состава.

Таким образом, исследование облученных на стенде образцов позволило сделать вывод, что при монофакторном действии потока нейтронов (до флюенса $8,4 \cdot 10^{12}$ нейтр./см²) жидкость ФМ-1 сохраняет стабильность физико-химических свойств и химического состава.

Результаты

Основными результатами проделанной работы являются:

1. Создание стенда нейтронного облучения с интегральной плотностью потока тепловых нейтронов $2,5 \cdot 10^5$ нейтр./ (см²·с), промежуточных — $4,0 \cdot 10^5$ нейтр./ (см²·с), быстрых — $3,8 \cdot 10^5$ нейтр./ (см²·с).
2. В результате исследования облученных на стенде образцов жидкости показано, что при флюенсе нейтронов до $8,4 \cdot 10^{12}$ нейтр./см² (в том числе быстрых до $3,1 \cdot 10^{12}$ нейтр./см²) жидкость ФМ-1 сохраняет без изменений свой химический состав и физико-химические свойства.
3. Научно-исследовательский потенциал стенда нейтронного облучения не ограничивается работами по изучению свойств жидкости ФМ-1. Перспективным направлением использования созданного стенда является исследование радиационной стойкости моноэтаноламина во втором контуре энергоблока СББР-100.

Литература

1. Соболевский М. В., Скороходов И. И., Гриневич К. П. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение. М.: Химия, 1985. 264 с.
2. Бажант В., Хваловски В., Ратоуски И. Силиконы. Кремнийорганические соединения, их получение, свойства и применение. М.: ГНТИХЛ, 1960. 711 с.
3. Токарев Ю. И., Чечеткин Ю. В., Гаврилин А. И. Ядерные энергетические установки с органическим теплоносителем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 224 с.

О. И. Перминов, А. О. Окенов, К. О. Хохлов

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРИБОРА ДЛЯ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В статье рассматривается построение макета медицинского прибора, излучающего поляризованный свет определенного спектрального диапазона и интенсивности для целей физиотерапии. Такой свет стимулирует процессы регенерации тканей, ускоряет биохимические обменные процессы. В основной части работы был создан макет терапевтической лампы для биостимуляции поляризованным излучением. Излучаемый свет имеет высокую степень поляризации, а так же определенную интенсивность и спектральный диапазон. В продолжение работы планируется модернизировать созданный макет элементом управления и индикаторной системой.

Ключевые слова: *высокочастотный импульсный преобразователь, стабилизатор тока, физиотерапия, светодиодные источники света, лечебная лампа.*

Abstract. This paper is about designing and creating of a medical device for irradiating damaged areas of biological tissues by polarized light to accelerate healing effects. The therapeutic lamp for biostimulation with polarized light, was designed in the main part of this paper. The emitted polarized light has a specific intensity and wavelength. To continue we plan to modify the device by operating element and indicator system.

Keywords: *high-frequency pulse transformer, current stabilizer, physiotherapy, led light sources, therapeutic tube.*

В настоящее время поляризованный свет активно применяется в физиотерапии для профилактики и лечения широкого ряда заболеваний. Эффект от воздействия таким светом проявляется в изменении скорости протекания биохимических и биофизических обменных процессов. Поляризованный свет оказывает комплексное терапевтическое воздействие на организм, улучшает микроциркуляцию капилляров и ускоряет регенерацию тканей [1].

Целью данной работы является разработка и создание физиотерапевтического прибора для воздействия поляризованным излучением на поврежденные ткани биообъектов.

Выбор и исследование параметров прототипа

В качестве прототипа разрабатываемого прибора, была выбрана поляризационная лампа «Bioptron» швейцарской компании Zepter, которая содержит в качестве источника света — галогенную лампу накаливания, расположенный за источником света рефлектор в форме параболоида, поляризатор Брюстера, составной корпус, образованный двумя трубчатыми частями. Недостатками такой лампы является

ее недолговечность, громоздкая конструкция поляризатора Брюстера, необходимость охлаждать галогенную лампу и поляризатор и отсутствие возможности подбирать спектральную характеристику излучения (в прототипе можно только ограничивать спектральный диапазон с концов, используя светофильтры).

В качестве источника световых квантов в прототипе используется галогенная лампа накаливания мощностью 20 Вт, предназначенная для создания пучка светового потока диаметром примерно 55 мм. Лампа при работе нагревается, поэтому требуется охлаждение вентилятором. Значительная часть мощности теряется в виде тепла, и коэффициент полезного действия относительно мал (составляет около 15 %). Существенным недостатком использования галогенной лампы в прототипе является отсутствие возможности регулирования спектрального диапазона для терапии. Кроме этого, в прототипе имеется крайне специфичный способ поляризации света посредством отражения от неметаллических поверхностей (поляризатор Брюстера), что является проблематичным из-за сильного нагрева отражающих пластин из флот-стекла и необходимости их охлаждения. Прототип имеет проблему с перегревом, что не позволяет его использовать при продолжительных процедурах терапии, из-за низкого времени непрерывной работы источника света (1,5 часа).

«Bioptron» позволяет воздействовать интенсивным некогерентным поляризованным светом, с высокой степенью поляризации, превышающей значение 95 %, полихроматичным светом в диапазоне длин волн 480...3400 нм. Проведены исследования по измерению оптических характеристик прибора. Осуществлено измерение освещенности, которая составляет 330 лк на расстоянии 1 м. Световой поток с низкой плотностью энергии, которая обладает биостимулирующим действием, позволяет воздействовать на область тканей биообъекта с постоянной (световые волны являются некогерентными), стабильной интенсивностью. Мощность светового потока составляет около 2,4 Дж/см² в минуту [2].

Конструирование прибора

Как правило, медицинские приборы конструируются с использованием ламп накаливания, поэтому спектральный терапевтический диапазон зачастую полностью зависит от диапазона излучения таких ламп. Необходимый спектральный состав излучения, оказывающий лечебное действие, достигается в таких приборах лишь с применением внешних светофильтров, что не всегда можно реализовать в конструкции. В последнее время в качестве источников света используются светодиоды, обладающие длительным сроком службы и потребляющие значительно меньшую мощность, чем иные источники света [3].

Конструкция прибора содержит корпус, выполненный в форме цилиндра, что позволяет расширить функциональность конструкции (предусмотреть различные варианты крепления: на штативе, с ручкой и пр.); избежать потерь светового потока на отражение вследствие прямого распространения лучей. В качестве источника света используются светодиоды видимого и инфракрасного диапазонов.

Для стабилизации тока через них применяется высокочастотный стабилизатор, использующий принцип широтно-импульсной модуляции. В качестве поляризатора используется линейный поляризатор света. Кроме того, прибор дополнительно может содержать блок-линзу [4].

Традиционные источники питания для светодиодов поддерживают неизменное выходное напряжение при изменении тока нагрузки. Однако падение напряжения на светодиодах меняется в зависимости от их температуры, следовательно, при длительной работе и, как следствие, нагреве рп-перехода, изменяется проходящий через них ток. Поэтому для питания светодиодов необходимо стабилизировать значение не напряжения, а тока.

Для этой цели, была спроектирована электрическая схема прибора для воздействия поляризованным светом на основе импульсного понижающего преобразователя. На рисунке представлена структурная схема электрической части прибора.

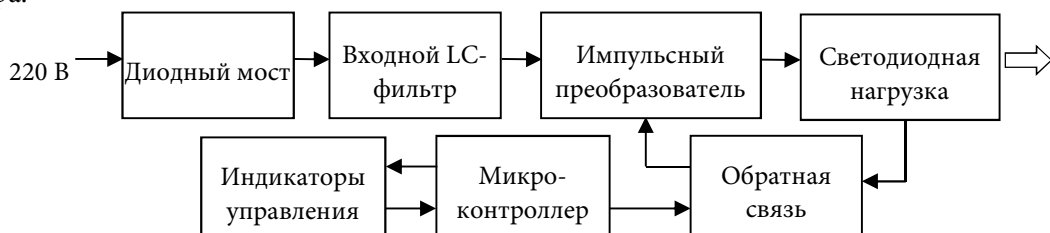


Рис. Структурная схема электрической части прибора

Входное напряжение сети, выпрямляется на диодном мосту и фильтруется входным П-образным LC-фильтром, предназначенным для уменьшения пульсаций входного напряжения. Далее напряжение поступает на импульсный преобразователь понижающего типа, состоящий из ключа, интегрированного в состав специализированной микросхемы и индуктивно-емкостного фильтра, после чего, преобразованное напряжение поступает на нагрузку. Обратная связь необходима для отслеживания изменения значения тока, питающего светодиоды, и его стабилизации [5].

Датчиком выходного тока является оптрон, т. е. светодиод, управляющий фототранзистором. Таким образом, обеспечивается эффективная обратная связь, позволяющая стабилизировать выходной ток в цепи светодиодов.

Разработанная схема позволяет регулировать выходной ток, протекающий в диодной нагрузке. Этот ток имеет постоянное значение. Предлагаемое схемотехническое решение было успешно опробовано на практике. Значительно снижена потребляемая электрическая мощность за счет использования светодиодов мощностью не более 1 Вт, увеличен КПД прибора (на 40 %). Кроме того, на данный момент, спроектирован, изготовлен и протестирован макетный экземпляр. По сравнению с прототипом, в макете решена проблема с охлаждением, так же значительно повышен срок службы, за счет использования светодиодов. Кроме того выбран

оптимальный способ для поляризации света. В дальнейшем планируется модернизировать макет, добавив управляющий элемент, реализованный на микроконтроллере, а так же систему индикации (индикаторные светодиоды, жидкокристаллический дисплей).

Модернизация

Управляющим элементом в схеме будет микроконтроллер, который позволит создать интерфейс с возможностью выбора на дисплее параметров облучения и длительности процедуры. Это позволит задавать необходимые параметры облучения: интенсивность света, форму и скважность импульсов тока, а так же, необходимый спектральный диапазон (выбор диапазона осуществляется коммутацией светодиодов, например, с помощью реле).

Главной задачей при модернизации прибора является управление протекающим через светодиоды током. Для решения данной задачи необходимо отказаться от использования интегральной микросхемы, работающей на основе принципа широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Поскольку современные микроконтроллеры имеют встроенный аппаратный ШИМ, работающий независимо от процессора, то имеет смысл использовать это вариант. Управляющим силовым элементом, планируется использовать MOSFET-транзистор, обладающий хорошими частотными характеристиками. Для эффективной работы транзистора необходимо подавать на затвор сигнал величиной 10–20 В. Т. к. максимальное напряжение на выводе ШИМ микроконтроллера равно 5 В, потребуется использовать драйверное устройство, обеспечивающее необходимое усиление по напряжению и по току [6].

Как уже отмечалось выше, для стабилизации тока в цепи светодиодов необходимо реализовать схему с обратной связью по току. Контролировать изменение величины тока планируется с помощью АЦП микроконтроллера. Для этого необходимо преобразовать ток в напряжение с помощью резистора, но напрямую снимать напряжение с него не безопасно АЦП, поэтому следует сделать гальваническую развязку с помощью оптрона. Такой выбор развязки не случаен, оптрон обладает хорошей линейностью ВАХ в необходимом диапазоне, это позволит легко преобразовать значение на АЦП в величину тока. По изменению величины тока можно определить необходимость корректировки длительности ШИМ сигнала.

Для защиты схемы от нештатных ситуаций типа короткого замыкания, предусмотрена цепь защиты по току ключа, в цепь которого введен низкоомный резистор между истоком силового транзистора и общим проводом, к которому подключен компаратору микроконтроллера. При превышении напряжения на резисторе подключенному к истоку программно выключается ШИМ, подача тока в цепь светодиодов прекращается.

Т. к. в каждом конкретном случае длительность процедуры различна, необходим таймер, позволяющий задавать временные интервалы. По окончании времени процедуры прибор автоматически должен выключиться и дать сигнал

об окончании процедуры. Реализовать таймер на микроконтроллере, с помощью таймеров/счетчиков, достаточно просто.

Для удобства обращения оператора с прибором, планируется использовать жидкокристаллический дисплей в качестве устройства визуализации. В начале процедуры, с помощью кнопок управления, выбирается диапазон излучения, время процедуры и другие параметры, отображаемые на дисплее. Во время процедуры на дисплее будет отображаться текущее значение таймера, а в случае возникновения сбоев выводиться предупреждение.

Заключение

Новые возможности по сравнению с прототипом расширяют область практических применений прибора в медицинской практике и делают его перспективным для научных исследований.

Литература

1. Боголюбов В. М., Пономаренко Г. Н. Общая физиотерапия: учебник для студентов медицинских вузов. Медицина, 2003. 432 с.
2. Гуляр С. А. Биоптрон: теория, клиника, перспективы. Материалы юбилейной науч.-практ. конф., посвящ. 5-летию деятельности Zepter-International в Украине. Киев: Изд-во Цептер, 1999.
3. Шуберт Ф. Е. Светодиоды. Физматлит, 2008. 496 с.
4. Патент RU 149515 U1 МПК A61N 5/00 (2006.01), 10.01.2015. Поляризационная лечебная лампа / О. И. Перминов, К. О. Хохлов // 2015. Бюл. № 1.
5. Хохлов К. О., Перминов О. И. Блок питания для источника поляризованного света / Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Вып. 32 // Изд-во «УМЦ УПИ», 2013. 172 с.

С. С. Савченко, Д. О. Ильин, А. С. Вохминцев, И. А. Вайнштейн

ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК InP/ZnS В НАНОПОРИСТОЙ МАТРИЦЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Мембрана анодированного оксида алюминия (AAO) с квантовыми точками (КТ) InP/ZnS синтезирована посредством электрохимического процесса, физического осаждения и обработки в ультразвуковой ванне. Измерены спектры фотолюминесценции (ФЛ) исходных мембран, отожженных образцов и AAO с КТ. Показано, что флуоресценция КТ сохраняется после осаждения в поры AAO. Рассчитаны координаты цветности синтезированного люминофора InP/ZnS@AAO (0,21, 0,26) и проиллюстрирован цветовой диапазон, который может быть охвачен при использовании матриц AAO, отожженных при температурах до 900 °С, и варьировании концентрации КТ.

Ключевые слова: композитный люминофор, цветовая диаграмма, фотолюминесценция, AAO.

Anodic aluminum oxide (AAO) membrane with InP/ZnS quantum dots (QDs) was synthesized by electrochemical technique, physical deposition and postprocessing in an ultrasonic bath. Photoluminescence spectra of the as-grown membranes, annealed samples and AAO with quantum dots were studied. The fluorescence of the QDs was found to be retained within the nanopores of the AAO. The chromaticity coordinates of (0,21, 0,26) for the obtained InP/ZnS@AAO phosphor were calculated and color range covered by varying membrane annealing temperature up to 900 °C and QD concentration was demonstrated.

Keywords: composite phosphor, chromaticity diagram, photoluminescence, AAO.

Введение

Полупроводниковые нанокристаллы или квантовые точки (КТ) представляют собой функциональный наноматериал с уникальными электрическими и оптическими свойствами вследствие проявления в них эффекта размерного ограничения по всем трем пространственным измерениям [1]. В настоящее время интенсивно изучаются возможные применения во многих областях, в частности, для создания светоизлучающих диодов, лазеров, фотоэлементов, люминофоров, биометок и биосенсоров и др. [2–4]. Особый интерес представляют нанокристаллы на основе полупроводниковых соединений элементов III–V групп, поскольку они не содержат токсичных компонентов [5]. В качестве активных подложек при создании эффективных люминесцентных композитов на основе коллоидных нанокристаллов перспективным представляется использование широкозонных твердотельных сред [6]. Таким образом, цель работы заключалась в исследовании фотолюминесценции (ФЛ) квантовых точек InP/ZnS, помещенных в нанопористую матрицу анодированного оксида алюминия (AAO).

Образцы и методика

Исследуемые квантовые точки InP/ZnS маркировки GA-150 были синтезированы в ООО «НТИЦ «Нанотех-Дубна» (г. Дубна, Московская обл.) и представляли собой трехслойную сферическую структуру. Ядро из InP, первая оболочка — ZnS, вторая из полиэтиленгликоля с функционально активными аминогруппами для присоединения лигандов. По паспортным данным синтеза квантовый выход флуоресценции составлял 23 % при облучении в УФ-диапазоне на длине волны 312 нм. При концентрации 17 мг/мл в водном растворе пик эмиссии соответствовал длине волны излучения 535 нм для среднего размера 25 нм.

Нанопористые мембраны Al_2O_3 были получены двухстадийным анодированием фольги из технического алюминия в гальваностатическом режиме. В качестве электролита использовался раствор щавелевой кислоты. Было синтезировано четыре образца со средним размером пор ≈ 50 нм, для трех был проведен отжиг на воздухе при температурах 500, 700 и 900 °C в течение 5 часов [7]. Для осаждения КТ подложка, отожженная при 500 °C, была помещена в коллоидный раствор InP/ZnS и обработана в ультразвуковой ванне «Eurosonic 4D» в течение 60 минут. В завершение полученный образец был промыт дистиллированной водой и измельчен в ступке до порошкообразного состояния.

Измерение ФЛ исследуемых образцов проводилось в режиме флуоресценции на люминесцентном спектрометре «Perkin Elmer LS 55». Возбуждение производилось фотонами с длиной волны 270 нм. Для регистрации спектров синтезированный порошок закреплялся на серебряной подложке. Измерение собственной флуоресценции КТ выполнялось по свечению сухого осадка InP/ZnS на серебряной подложке, который создавался путем нанесения и испарения коллоидного раствора при комнатной температуре.

Результаты и обсуждение

Измеренные спектры ФЛ показаны на рис. 1: кривая 1 — исходный ААО, кривая 2 — свечение нанопористой матрицы оксида алюминия с осажденными в нее КТ, кривая 3 — собственная флуоресценция КТ. Очевидно, что спектр флуоресценции синтезированного люминофора содержит в своем составе полосу свечения, соответствующую полупроводниковым нанокристаллам InP/ZnS.

Этот факт свидетельствует о сохранении целостности оболочки сульфида цинка и, как следствие, надежной пассивации поверхности квантовых точек. Таким образом, по полученным результатам можно заключить, что при осаждении в матрицу КТ не теряют своих флуоресцентных свойств и можно говорить об успешном синтезе структуры InP/ZnS@AAO. Следует отметить, что нам неизвестны литературные данные по исследованию люминесценции в аналогичных композитных структурах.

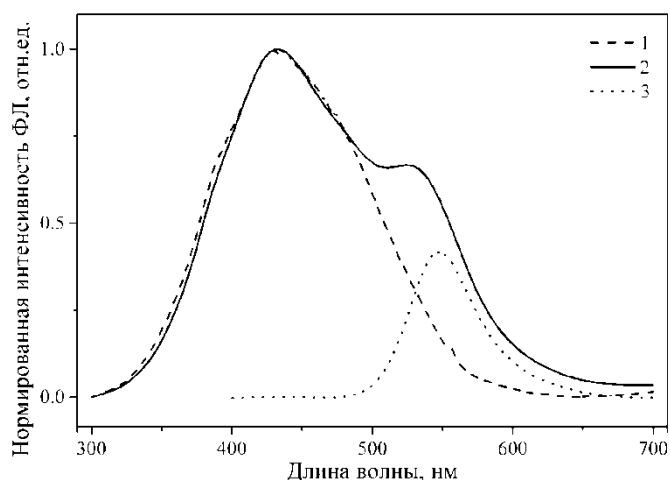


Рис. 1. Спектры ФЛ ААО до и после осаждения КТ

На рис. 2 изображена цветовая диаграмма, принятая Международной комиссией по освещению в 1931 году. Расчет производился с использованием стандартных функций согласования цвета [8]. Точками на диаграмму нанесены координаты цветности исходной (0,19, 0,25) и отожженных матриц ААО — 500 °С (0,18, 0,20), 700 °С (0,16, 0,10) и 900 °С (0,22, 0,37). Кроме того, отмечены координаты цветности собственно квантовых точек (0,37, 0,61) и синтезированного люминофора (0,21, 0,26).

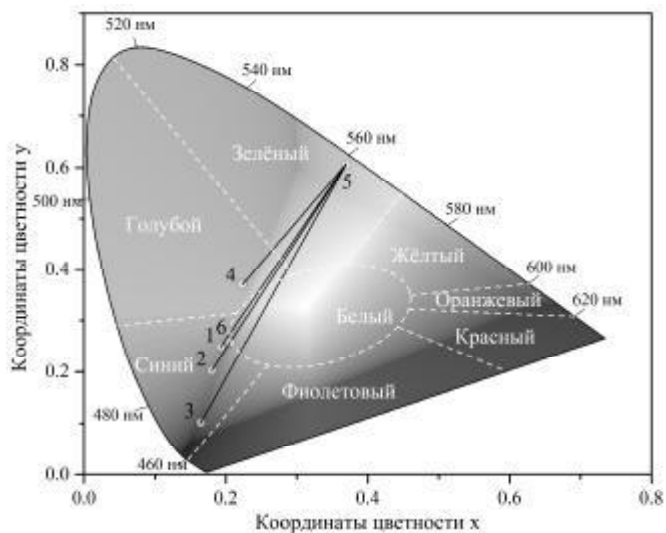


Рис. 2. Цветовая диаграмма с нанесенными координатами цветности:

1 — ААО без отжига, 2 — ААО после отжига при 500 °С, 3 — ААО после отжига при 700 °С, 4 — ААО после отжига при 900 °С, 5 — КТ InP/ZnS, 6 — ААО с КТ.

Известно, что между любыми двумя точками диаграммы путем изменения соотношения соответствующих спектральных интенсивностей могут

быть получены все цвета, лежащие на прямой, соединяющей координаты подбираемых источников излучения [8]. Следовательно, выбирая условия отжига мембраны и варьируя концентрацию КТ, можно получать эмиттеры фотонного излучения различного спектрального состава. Диапазоны возможной цветности показаны на диаграмме линиями (см. рис. 2): $5 \rightarrow 1$; $5 \rightarrow 2$; $5 \rightarrow 3$ и $5 \rightarrow 4$. Видно, что при определенных параметрах могут быть получены структуры InP/ZnS@AAO с координатами цветности в белой области.

Заключение

В настоящей работе впервые синтезирован композитный люминофор, представляющий собой нанопористую мембрану анодированного оксида алюминия с осажденными в нее квантовыми точками InP/ZnS. Проведены измерения спектров ФЛ полученной структуры. Показано, что при осаждении КТ в матрицу они не теряют своих флуоресцентных свойств. Это свидетельствует о надежной пассивации поверхности полупроводниковых нанокристаллов. Рассчитаны координаты цветности полученного люминофора InP/ZnS@AAO, которые составили (0,21, 0,26), и проиллюстрирован цветовой диапазон, который может быть охвачен при использовании мембран ААО, отожженных при температурах $< 900^\circ\text{C}$, и при варьировании концентрации осаждаемых КТ.

Литература

1. Yoffe A. D. Low-Dimensional Systems: Quantum Size Effects and Electronic Properties of Semiconductor Microcrystallites (Zero-Dimensional Systems) and Some Quasi-Two-Dimensional Systems // *Advances in Physics*. 1993. № 2. P. 173–266.
2. Kim Y., Ippen C., Greco T., Wedel A., Park M., Lee C., Han C. J., Kim J. Efficiency Enhancement of Indium Phosphide (InP) Based Quantum Dot Light-Emitting Diodes by Shell Thickness Tuning // *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 2013. № 44. P. 207–209.
3. Gao S., Zhang C., Liu Y., Su H., Wei L., Huang T., Deltas N., Shang S., Mohnsey S., Wang J., Xu J. Lasing from Colloidal InP/ZnS Quantum Dots // *Optics Express*. 2011. № 6. P. 5528–5535.
4. Hussain S., Won N., Nam J., Band J., Chung H., Kim S. One-Pot Fabrication of High-Quality InP/ZnS (Core/Shell) Quantum Dots and Their Application to Cellular Imaging // *Chem-PhysChem*. 2009. № 10. P. 1466–1470.
5. Reiss P., Protiere M., Li L. Core/Shell Semiconductor Nanocrystals // *Small*. 2009. № 5. P. 154–168.
6. Xu J., Xia J., Wang J., Shinar J., Lin Z. Quantum dots confined in nanoporous alumina membranes // *Applied Physics Letters*. 2006. № 89. P. 133110.
7. Ильин Д. О., Вохминцев А. С., Чукин А. В., Вайнштейн И. А. Влияние температурного отжига на катодолюминесцентные свойства нанопористого оксида алюминия // *Физика. Технологии. Инновации: сб. науч. тр.* Екатеринбург, 2015.
8. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

С. М. Титова, С. Ю. Скрипченко, М. П. Грачева, К. Р. Горцунова,
А. Л. Смирнов

ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА ИЗ ТБФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ

Исследован процесс реэкстракции урана из трибутилфосфата растворами плавиковой кислоты с добавлением и без добавления гидразина. Установлено, что введение гидразина в раствор приводит к осаждению урана из органической фазы в виде уранилгидразиний фторида. Степень осаждения урана возрастает с увеличением мольного соотношения N_2H_4/U в интервале 1–3 и времени выдержки фаз. Термическое разрушение уранилгидразиний фторида в токе водорода приводит к образованию тетрафторида урана. Полученный UF_4 соответствует всем требованиям, предъявляемым к данному продукту на конверсионных заводах.

Ключевые слова: *реэкстракция урана,; трибутилфосфат, плавиковая кислота, гидразин, тетрафторид урана.*

The uranium stripping from tributyl phosphate by hydrofluoric acid solutions with and without addition of hydrazine was investigated. The use of hydrofluoric acid and hydrazine mixture results in uranium precipitation from organic phase as hydrazine uranyl fluoride complex. The uranium precipitation increased with increasing N_2H_4/U molar ratio in the range of 1-3 and increasing holding time. The uranium tetrafluoride was obtained by thermal decomposition of hydrazine uranyl fluoride complex in a hydrogen stream. The obtained UF_4 meets all requirements imposed to product at conversion plants.

Keywords: *uranium stripping, tributyl phosphate, hydrofluoric acid, hydrazine, uranium tetrafluoride.*

На сегодняшний день задача получения материала ядерной чистоты в ходе переработки уранового сырья решается за счет комбинирования двух или более методов аффинажа. Наиболее распространенной комбинацией в технологических схемах является сочетание экстракционного и фторидного аффинажа урана. В этом случае конечным продуктом переработки концентратов урана является тетрафторид урана, который затем используется для производства гексафторида урана [1, 2]. Основным недостатком данных методов аффинажа является многостадийность процессов получения тетрафторида урана.

Сокращение числа операций переработки урана может быть достигнуто за счет получения фтористых соединений урана непосредственно на стадии экстракционного аффинажа. Поэтому были проведены исследования процесса реэкстракции урана из насыщенной органической фазы растворами различных фторсодержащих реагентов в присутствии восстановителей. В данной работе представле-

ны результаты экспериментов по реэкстракции урана растворами плавиковой кислоты с добавлением и без добавления гидразина.

В качестве экстрагента в работе был использован 30 %-ный трибутилфосфат (ТБФ) в керосине ShellSol D90. Экстракцию проводили при комнатной температуре (20...25 °С) из растворов с содержанием 100 г/дм³ U(VI) и 100 г/дм³ HNO₃, приготовленных путем растворения технического полиураната аммония в азотной кислоте. Объемное соотношение органической и водной фазы (О/В) было равно 1. Насыщенная органическая фаза после экстракции и промывки содержала 80...100 г/дм³ U(VI) и 10...20 г/дм³ HNO₃.

Процесс реэкстракции урана из ТБФ проводили растворами плавиковой кислоты с добавлением и без добавления гидразин-гидрата при О/В = 1 и температуре 20...25 °С, если не указано иное. Прокаливание полученных в ходе реэкстракции фтористых соединений урана осуществляли в трубчатой печи в одну стадию при температуре 450...600 °С в токе водорода.

Концентрацию урана в водной фазе определяли с помощью ICP-AES («Optima 4300 DV Perkin Elmer»), а также методом Сахарова [3]. Содержание азотной кислоты в водной фазе определяли методом кислотно-основного титрования [4]. Концентрация урана и азотной кислоты в органической фазе была рассчитана по массовому балансу. Порошковые дифракционные данные для рентгенофазового анализа образцов урана были получены на автодифрактометре «STADI-P» («STOE», Германия). Для идентификации фаз использовали базу порошковых стандартов [5]. Гранулометрический состав полученных в работе порошков урана исследовали лазерно-дифракционным методом на анализаторе размера частиц «Analysette 22 MicroTec». Содержание примесей в образцах тетрафторида урана определяли различными физико-химическими методами (в зависимости от типа примеси), в том числе используя приборы «PerkinElmer ELAN DRC-e», «Analyst 200» и ДФС-8. Удельную поверхность порошков тетрафторида урана измеряли на приборе «Quantachrome Nova 1200e».

По данным проведенных экспериментов использование растворов плавиковой кислоты на стадии реэкстракции приводит к извлечению урана из ТБФ в водную фазу. Степень извлечения урана увеличивается с ростом содержания плавиковой кислоты в исходном реэкстрагирующем растворе (рис. 1).

Введение гидразина в реэкстрагирующий раствор приводит к осаждению урана из органической фазы в виде уранилгидразиний фторида — $\text{UO}_2\text{F}_2\text{N}_2\text{H}_4\cdot 2\text{HF}\cdot 1,25\text{H}_2\text{O}$. Рентгенограмма полученного соединения урана представлена на рис. 2.

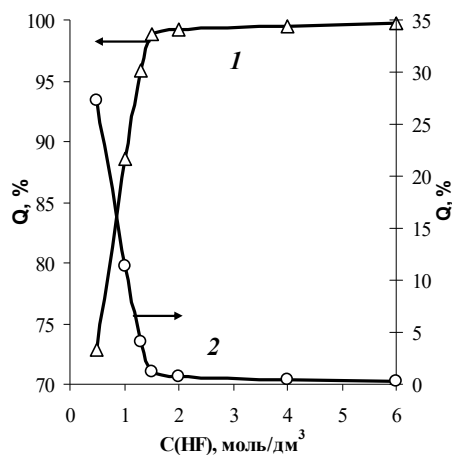


Рис. 1. Распределение урана между водной (1) и органической (2) фазами при реэкстракции урана из ТБФ растворами плавиковой кислоты

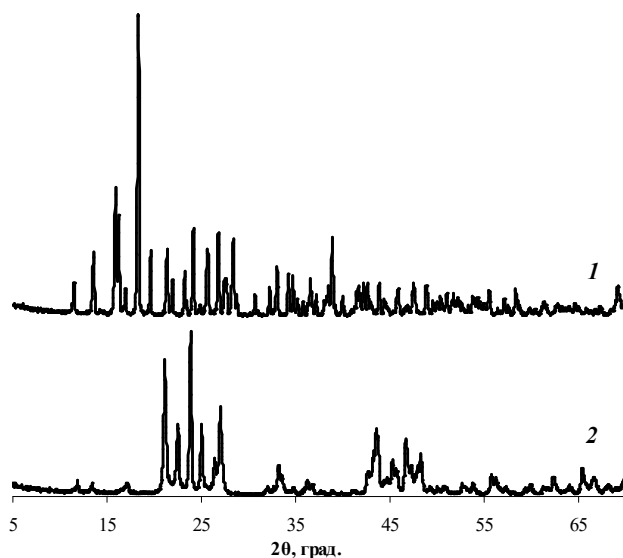


Рис. 2. Рентгенограммы соединений урана:
1 — $\text{UO}_2\text{F}_2 \cdot \text{N}_2\text{H}_4 \cdot 1,25\text{H}_2\text{O}$; 2 — UF_4

Согласно результатам экспериментов (табл. 1) осаждение уранилгидразиний фторида из насыщенной органической фазы происходит при концентрации плавиковой кислоты в реэкстрагирующем растворе не менее 4 моль/дм³. Степень осаждения урана из ТБФ возрастает с увеличением мольного соотношения $\text{N}_2\text{H}_4/\text{U}$ в диапазоне 1–3. Дальнейший рост содержания гидразина в реэкстрагирующем растворе из-за образования растворимых комплексов сопровождается снижением степени осаждения урана. При соотношении $\text{N}_2\text{H}_4/\text{U}$ выше 5 осаждение урана не происходит, и он практически полностью переходит в водную фазу. При этом

в ходе выдержки данных растворов наблюдается осаждение кристаллогидрата тетрафторида урана ($\text{UF}_4 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$) за счет протекания процессов восстановления урана гидразином в присутствии плавиковой кислоты [6].

Таблица 1

*Влияние состава реэкстрагирующего раствора
на распределение урана между фазами при реэкстракции из ТБФ*

Содержание в реэкстрагирующем растворе		Распределение урана при реэкстракции, %		
HF, моль/дм ³	N ₂ H ₄ , моль/моль U	органическая фаза	водная фаза	осадок
6	0,3	0,5	99,5	–
6	1	0,5	48,7	50,8
6	1,5	0,4	14,8	84,8
6	2	0,2	13,3	86,5
6	2,5	0,1	9,1	90,8
6	3	0,1	6,1	93,8
6	3,5	0,1	8,6	91,3
6	4,5	0,1	12,3	87,6
6	6	0,1	99,9	–
6	9	0,1	99,9	–
2	3	0,6	99,4	–
3	3	0,4	99,6	–
3,5	3	0,3	99,7	–
4	3	0,1	26,6	73,3
5	3	0,1	15,2	84,7
7	3	0,1	5,0	94,9

Помимо кислотности, немаловажными параметрами, определяющим эффективность реэкстракции урана, являются температура и время выдержки фаз [1, 2]. Поэтому в ходе данных исследований были проведены эксперименты по реэкстракции урана из насыщенной органической фазы растворами плавиковой кислоты (6 моль/дм³ HF) с добавлением гидразина (3 моль/моль U N₂H₄) при различных температурах (20...60 °С) и времени выдержки фаз после перемешивания.

Таблица 2

*Влияние температуры на распределение урана
между фазами при реэкстракции урана из ТБФ*

Температура, °С	Распределение урана при реэкстракции, %		
	органическая фаза	водная фаза	осадок
20	0,1	6,1	93,8
30	0,1	5,9	94,0
40	0,1	4,1	95,8
60	0,1	3,7	96,2

Таблица 3

*Влияние времени выдержки на распределение урана
между фазами при реэкстракции урана из ТБФ*

Время выдержки фаз, ч	Распределение урана при реэкстракции, %		
	органическая фаза	водная фаза	осадок
0	0,1	6,1	93,8
4	0,1	5,5	94,4
12	0,1	5,2	94,7
24	0,1	4,6	95,3

По данным исследований степень осаждения урана из ТБФ незначительно увеличивается с ростом температуры и времени выдержки фаз (табл. 2 и 3). При этом, в последнем случае уран осаждается не только в форме уранилгидразиний фторида, но и в виде $UF_4 \cdot 2,5H_2O$. Это происходит за счет протекания процессов восстановления шестивалентного урана до четырехвалентного состояния гидразином в присутствии плавиковой кислоты [6]. Таким образом, определяющими факторами, влияющими на осаждение урана из насыщенной органической фазы, являются содержание плавиковой кислоты и гидразина в реэкстрагирующем растворе.

Полученный в ходе исследований уранилгидразиний фторид был прокален в токе водорода при температуре 450...600 °С. По данным рентгенофазового анализа в результате термического разрушения данного продукта образуется безводный UF_4 моноклинной структуры (рис. 2). Оценка физико-химических характеристик полученного тетрафторида урана показала, что массовая доля урана в UF_4 составляет 76 %, суммарная доля UO_2F_2 и UO_2 не превышает 4 %. Средний диаметр частиц тетрафторида урана — 20...25 мкм, плотность утряски — 2,7 г/см³. По содержанию примесных элементов UF_4 является продуктом высокой степени чистоты (табл. 4) и может использоваться для производства UF_6 соответствующего ASTM C787-11 [7].

Таблица 4

Содержание примесей в тетрафториде урана, мкг/г U

Sb	0,2	Mo	0,3	Ti	0,7	Ba	< 2,0	Bi	< 2,0	Ca	6
As	0,1	Nb	0,1	W	0,8	Pb	0,1	Mg	< 4,0	Ni	3
B	0,1	P	4,7	V	0,2	Sr	< 1,0	Sn	< 10	Zr	0,7
Br	1,6	Ru	0,1	Al	3	Be	< 1,0	Cd	< 2,0	K	5
Cl	1,3	Si	16	Fe	21	Li	< 1,0	Mn	< 1,0	Cu	0,1
Cr	3,5	Ta	0,2	Na	7	Th	< 3,0	Zn	< 2,0	Ag	< 1,0

Проведенные исследования показали высокую эффективность применения растворов плавиковой кислоты с добавлением гидразина для реэкстракции урана из ТБФ. Особенностью данного метода является извлечение урана из насыщенной органической фазы за счет прямого осаждения в виде $UO_2F_2 \cdot N_2H_4 \cdot 2HF \cdot 1,25 H_2O$. В ходе прокаливания данного продукта в токе водорода образуется тетрафторид

урана, который согласно результатам физико-химических исследований может быть использован для производства гексафторида урана, соответствующего международному стандарту ASTM C787-11. Таким образом, данный метод позволяет получить высокочистый тетрафторид урана, при этом сократить число операций переработки урана.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ на 2015–2017 гг. (СП-593.2015.2) и финансовой поддержке УрФУ в рамках реализации Программы развития УрФУ для победителей конкурса «Молодые ученые УрФУ».

Литература

1. Тураев Н. С., Жерин И. И. Химия и технология урана. М.: Руда и металлы. 2006. 396 с.
2. Morss L. R., Edelstein N. M., Fuger J. The Chemistry of the Actinide and Transactinide. 4th ed. Netherlands: Springer, 2010. Vol. 1–6. 4191 p.
3. Марков В. К., Виноградов А. В., Елинсон С. В. Уран, методы его определения. М.: Атомиздат. 1964. 512 с.
4. Лурье Ю. Ю. Анализ производственных сточных вод. М.: Химия. 1974. 486 с.
5. База порошковых стандартов — ICDD PDF-2 [Электронный ресурс]. Philadelphia, USA: International Centre for Diffraction Data, 2009. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Ананьев А. В., Тананаев И. Г., Шилов В. П. Гетерогенно-каталитические окислительно-восстановительные реакции в химии и технологии ядерного топливного цикла // Успехи химии. 2005. Т. 74. № 11. С. 1133–1155.
7. ASTM Standard C787. Standard Specification for Uranium Hexafluoride for Enrichment. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2011. P. 4. DOI: 10.1520/C0787-11. (www.astm.org).

Е. А. Федосов, С. Л. Гольдштейн, И. А. Диомидов

МЕТОД И МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТОЛЩИНЫ ГЕМАНГИОМ

Представлена системно-структурная, концептуальная, алгоритмическая, математическая и экспериментальная модель оценки толщины гемангиомы.

Ключевые слова: *гемангиома, толщина гемангиомы, лазерная хирургия, диагностика.*

The system and structural, conceptual, algorithmic, mathematical and experimental model of hemangioma thickness estimate is presented.

Keywords: *hemangioma, thickness of hemangioma, diagnostics.*

Гемангиома — это доброкачественная опухоль, развивающаяся из кровеносных сосудов; устраняемая агрессивной терапией (лекарственные препараты), бескровной и кровавой хирургией. Бескровная осуществляется с помощью лазерной технологии. При ее планировании и реализации важно знать толщину, которая зрительно не видна. Для ее определения могут использоваться различные сканеры: УЗИ, КТ, МРТ, ПЭТ [1–5]. Перед проведением процедуры лечения необходимо определить глубину залегания новообразования относительно поверхности тела. В зависимости от полученных данных (толщина опухоли) хирург принимает решение по выбору способа «удаления» гемангиомы. Очень часто хирург применяет вариации неинвазивных сканеров для уточнения толщины гемангиомы [6], т. к. не всегда с такой задачей может справиться только один вид устройства.

В данной статье поставлена и решена задача по определению толщины гемангиомы криогенным методом с помощью пакета моделей. Проведен эксперимент, который позволяет детерминировать размерность новообразования без применения неинвазивных сканеров.

Концептуальная модель

Метод определения толщины гемангиомы — это последовательность процедур, обладающих *функциями* криовоздействия на гемангиому, снятия откликов после такого воздействия, обработки результатов *путем* натурного и компьютерного экспериментов *на основе* устройств: весов, курвиметра, термометра, холодильника, резака, кондуктора, манипулятора, компьютера; *направленный* на удовлетворение потребности хирурга в знании и определении толщины гемангиомы; *с целью* выбора оптимальных характеристик лазера.

Системно-структурная модель системы оценки толщины гемангиом

В качестве прототипа системы оценки толщины гемангиом (СОТГ) взята компиляция подсистем [7]: 1 — прозекторская [1], 2 — ультразвукового исследования [2],

3 — компьютерной томографии [3], 4 — магнитно-резонансной томографии [4], 5 — позитронно-эмиссионной томографии [5], 6 — управления, 7 — оценки результата, 9 — криометрическая, 8, 10 — интерфейсов. Системно-структурная модель (рис. 1.) отражает развитие прототипа за счет введения новых подсистем 9 и 10 и модернизации двух существующих подсистем 6 и 7.

Криометрическая подсистема 9 предлагается в составе инструментов: весы, курвиметр, термометр, холодильник, резак, кондуктор, манипулятор, компьютер. Блок 7 производит оценку, которая идет на вход условия: «Результат удовлетворяет?». Блок 6 контролирует функционирование СОТГ.

СОТГ функционирует по следующему алгоритму. На входе — ситуация с неизвестной толщиной гемангиомы и запрос на развитие СОТГ. Затем открываются циклы по задачам и ресурсам. Начинается первое распараллеливание, в теле которого работают блоки (подсистемы) [1–5] прототипа. После чего блок 7 оценивает результат, например, по затратности. При негативной оценке подключаются подсистемы 9 и 10, выходы с которых поступают в начало распараллеливания. Старший параллелизм поддерживается блоком 6. После закрытия циклов на выходе фиксируют результаты, отчетность и опыт.

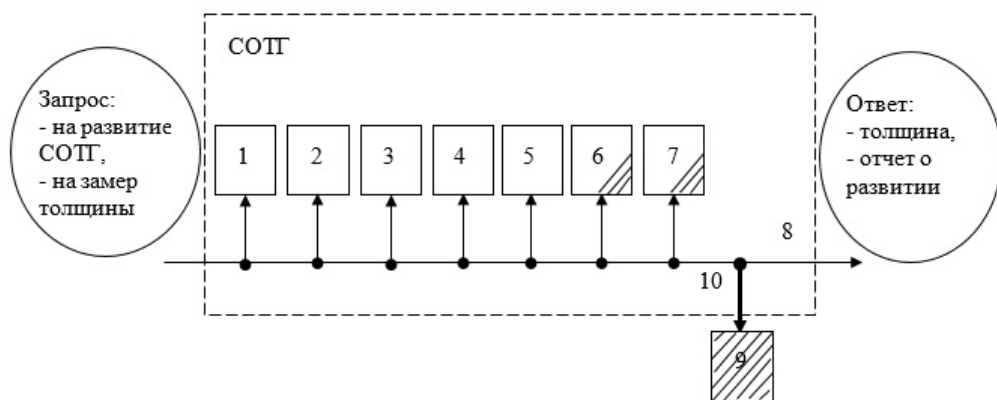


Рис. 1. Системно-структурная модель СОТГ по компилятивному прототипу [1–5] и предлагаемому решению: фон, уголки, жирная стрелка

Алгоритмические модели

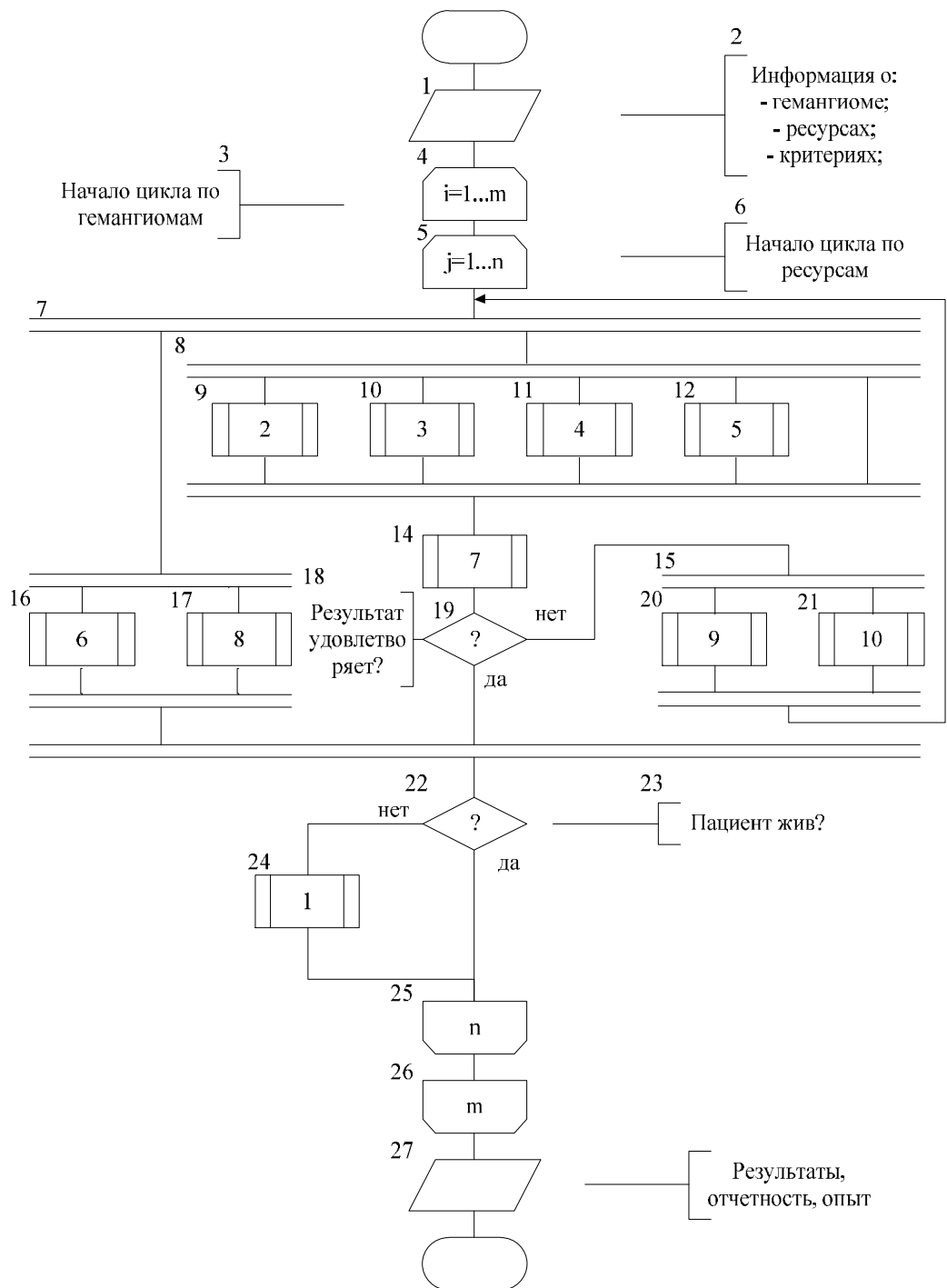


Рис. 2. Алгоритмическая модель СОТГ

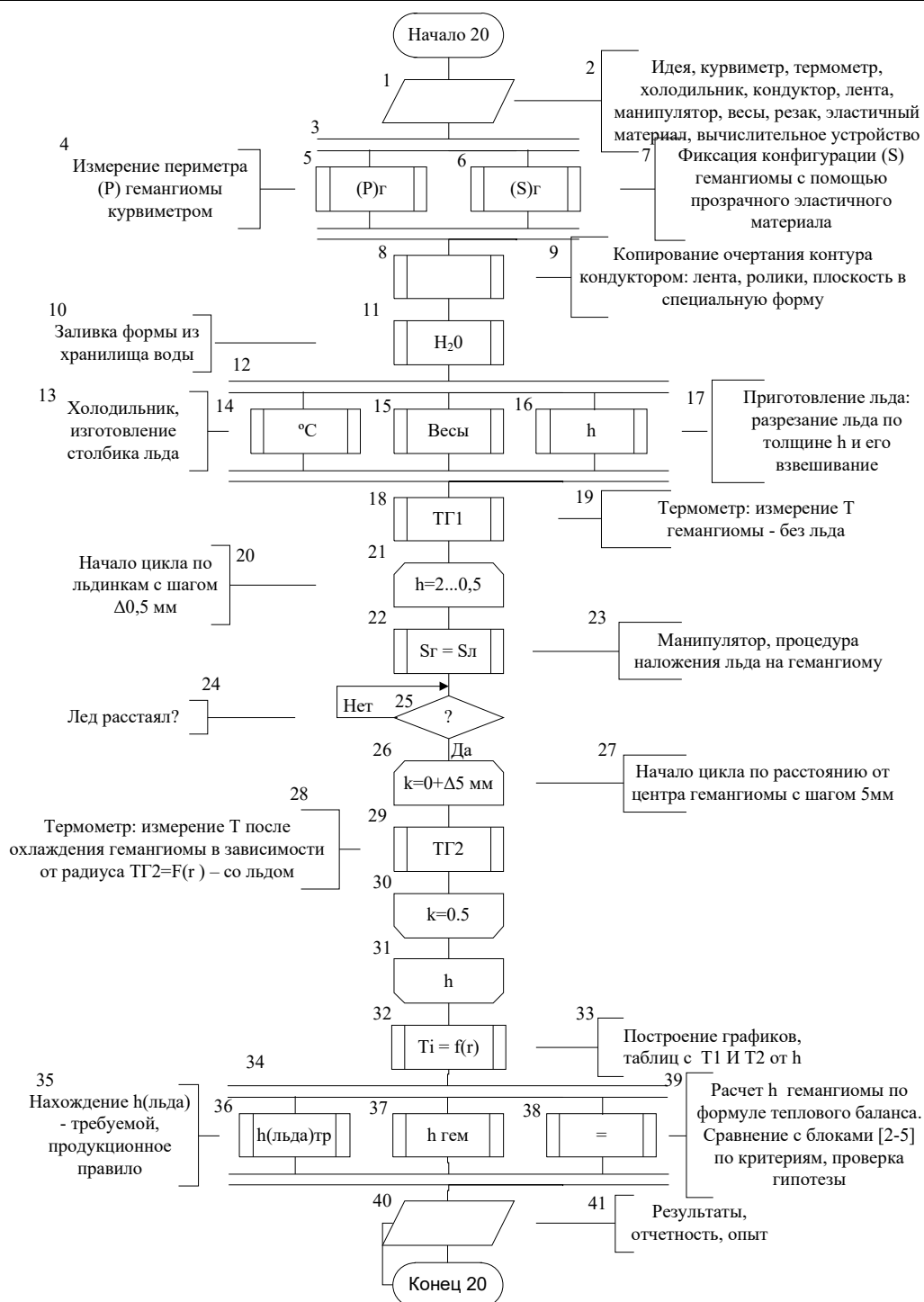


Рис. 3. Алгоритмическая модель криометрической подсистемы COTG

Математическая модель

Идея — возможность определения скрытой толщины наружной гемангиомы за счет криогенного эффекта и модели теплового баланса.

Дано: наружная гемангиома, удельная теплота плавления λ и плотность ρ_{ice} льда, теплоемкость c , плотность ρ_{gem} и температура T тела.

Требуется: синтезировать математическую модель метода определения толщины гемангиомы [8], разобраться с размерностями, оценить порядки величин, проверить адекватность модели.

Ведущая гипотеза по модели: вся теплоемкость льда расходуется только на гемангиому, поскольку ее температура выше температуры тела.

Алгоритм эксперимента (см. рис. 3): определение периметра гемангиомы с помощью курвиметра; копирование периметра кондуктором с роликом и резиновым кольцом; изготовление по периметру столбика льда из воды; нарезка столбика на пластины толщиной 2...0,2 мм; измерение температуры гемангиомы; проведение серии экспериментов с растоплением пластинок льда гемангиомой до полного их расставания с фиксацией радиальной зависимости температуры тела для разных толщин льда; расчет площади гемангиомы S_{gem} ; построение температурной зависимости (рис. 4.); выбор оптимальной толщины льда h_{ice} . Оптимальной считают ту толщину льда h_i , которая соответствует сигмоидной зависимости $f_i = |h_{36,6_i} - h_{ice_i}|$, не выходящей за периметр гемангиомы по ее радиусу:

$$\begin{aligned} & \text{if } |h_{36,6_i} - h_{ice_i}| \rightarrow 0 \text{ then } h_{ice_i} = h_{36,6_i} \\ & \text{else if } |h_{36,6_i} - h_{ice_i}| > 0 \text{ then } h_{ice_i} \uparrow \\ & \text{else if } |h_{36,6_i} - h_{ice_i}| < 0 \text{ then } h_{ice_i} \downarrow \end{aligned} \quad (1)$$

$$h_{gem} = \frac{\lambda \rho_{ice} h_{ice} S_{ice}}{c \Delta T \rho_{gem} S_{gem}} \quad (2)$$

Проверка адекватности модели проведена методом сравнения с УЗИ-данными.

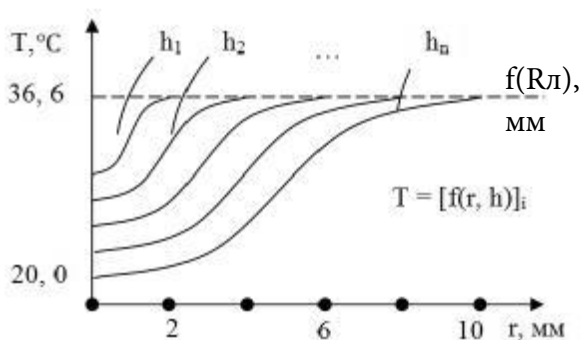


Рис. 4. Графическая модель эксперимента

Эксперимент

Эксперимент проводили в НПЦ Бонум. Использовали следующие инструменты и оборудование: линейка, прозрачный мягкий полиэтилен, уплотненный твердый полиэтилен, скотч, шприц, вода, соль, маркер, подставка, пипетка, штангенциркуль, ножницы, марля, ЭВМ.

Приготовление приспособлений для льда (блоки 1–9 на рис. 3). На гемангиому накладывали прозрачный полиэтиленовый материал больший по площади, чем сама опухоль; с помощью маркера очерчивается контур; очерченный контур вырезается с помощью ножниц; на твердый уплотненный полиэтиленовый материал (достаточно плотный чтобы не изгибаться при тряске, и чтобы можно было использовать обычные ножницы, способные вырезать из него заготовки) накладывается вырезанный контур; затем он вновь очерчивается маркером; вырезается очерченный контур на плотном полиэтилене; операция повторяется столько раз, сколько планируется создать пластинок льда (в данном случае используются 4 заготовки из твердого полиэтилена для 3-х пластинок льда); для каждой заготовки вырезается полиэтиленовый контур большей площади — заплатка (заплата необходима для того, чтобы после приготовления льда при его отделении от заготовок, сам лед не сломался, поэтому используется промежуточный слой, который просто служит для более мягкого и надежного, не повреждающего лед, способа отделения льда от заготовок), чем сама заготовка (такая площадь полиэтилена должна полностью охватить заготовку, и после охвата иметь возможность соединиться на уровне нескольких сантиметров выше нее).

Приготовление льда (блоки 10–17 на рис. 3). Для определения толщины льда используются цилиндрические проволоочки определенной толщины (толщина измеряется штангенциркулем), задаваемой в зависимости от первичной оценки толщины гемангиомы по отношению к криометрическому методу: охлаждение гемангиомы льдом; каждая проволоочка изгибается один раз для того, чтобы разделить заготовки (тем самым задав расстояние между ними — будущую толщину пластинки льда); каждая проволоочка имеет разные толщины соответственно для каждой будущей пластинки льда; проволоочка находится между заготовками, однако, т. к. верхняя заготовка охватывается полиэтиленовой заплаткой, то проволоочка находится между заплаткой и заготовкой; каждая заготовка ставится на заплатку, заплатка охватывает заготовку и своими краями соединяется выше заготовки; при расположении снизу вверх и при взятии в расчет, что необходимо создать только три пластинки льда используется следующая схема по порядку: заплатка, заготовка, проволоочка 1, заплатка, заготовка, проволоочка 2, заплатка, заготовка, проволоочка 3, заплатка, заготовка; причем охват 1-ой заплаткой идет снизу вверх и соединяется с последней заплаткой, охват 2-й и 3-й идет снизу вверх и соединяется с 4-й заплаткой; таким образом, все охватывающие заплатки соединяются скотчем чуть выше всей конструкции; после чего вся конструкция дополнительно охватывается скотчем по всей ширине; для приготовления самого льда используется

вода, которая заливается в те промежутки, в которых находятся проволоочки; вода заливается с помощью шприца, проколов конструкцию в месте «слоя» проволоочек; затем конструкция еще раз залатывается скотчем, закрывая дырку; количество воды может быть рассчитано исходя из объема, образовавшегося в «слое» проволоочки между заготовками и заплатками; объем рассчитывается по двум составляющим — площадь и высота; площадь вычисляется по исходным данным очерченного контура гемангиомы; высота берется как высота конкретной проволоочки; объем рассчитывается как площадь, умноженная на высоту минус объем проволоочки, равный ее длине, умноженной на толщину и умноженный на площадь поперечного сечения как числа π на диаметр сечения, деленный пополам, чей результат возводится в квадрат и умножается на число π ; полученный объем воды набирается с помощью пипетки, чей капилляр соответствует полученной из него капле порядка 0,05 мл на одну каплю; исходя из пропорции капли и объема, вычисленный объем воды набирается в шприц и, затем, заполняет резервуар будущей пластинки льда; после чего с помощью скотча проделанные дырки зарываются, а конструкция помещается на подставку с солью (для того чтобы охлаждение было быстрее); подставка помещается в морозильное отделение на время полной заморозки пластинок льда.

Измерение промежуточных данных (блоки 18–33 на рис. 3). Перед проведением эксперимента охлаждения гемангиомы, необходимо измерить температуру гемангиомы. Такая температура будет принята за константу для конкретного пациента (температура условного центра), обозначенная как $T_1 = 37,4 \pm 0,3$ °C, где 0,3 — погрешность измерительного прибора — инфракрасного датчика. Толщины определены заранее с помощью штангенциркуля: 0,3; 0,5; 0,7 мм, соответственно. Далее взято условное направление радиуса-луча с точкой начала в условной центре гемангиомы. Измерено расстояние по этому радиусу из начальной точки до периферии, равное 15 мм. Также за константы приняты некоторые величины в формулах теплоемкости тела и теплоты плавления льда:

$$\lambda = 33 \cdot 10^4 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$c_{\text{крови}} = 3645 \dots 3770 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$c_{\text{тела человека}} = 0,83 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) = 3470 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$\rho_{\text{льда}} = 0,917 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

$$\rho_{\text{гем(крови)}} = 1060 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Кроме того, измерена температура за периферией гемангиомы, которая меньше нее и составляет в среднем $T = 34,4$ °C, что является нормальной температурой в данной области (голова). Однако на периферии гемангиомы и смежных участков поверхности тела температура имеет промежуточные показания. Данные промежуточных данных измерения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость температуры от радиуса (без охлаждения)

$T, ^\circ\text{C}$	37,4	37,0	36,8	36,1	35,5	34,9	34,4
$R (S_{\text{гем}}), \text{мм}$	0	5	10	15	20	25	30

Ход работы (блоки 32–41 на рис.3). Готовая пластинка льда кладется на гемангиому до полного ее таяния; марлей убирается лишняя вода (чтобы при последующем измерении ИК датчиком не случилось погрешности при прохождении луча и попадании его на отражающую поверхность в виде оставшихся капель стаявшей воды); начинается измерение температуры по тому же радиусу с тем же шагом; после проведения серии таких экспериментов все повторяется с другими пластинками. Результаты зафиксированы в табл. 2, которая определяет изменение температуры по радиусу, причем для каждой толщины пластинки.

Таблица 2

Зависимость температуры T от радиуса R (после охлаждения), $^\circ\text{C}$

$R (S_{\text{гем}}), \text{мм}$	0	5	10	15	20	25	30
Толщина льда, мм							
0,3	20	24,6	33,4	34,4	34,4	34,4	34,4
0,5	14,9	16,7	20,9	33,5	34,1	34,4	34,4
0,7	12,4	13,6	14	15,6	31,9	33,4	34,4

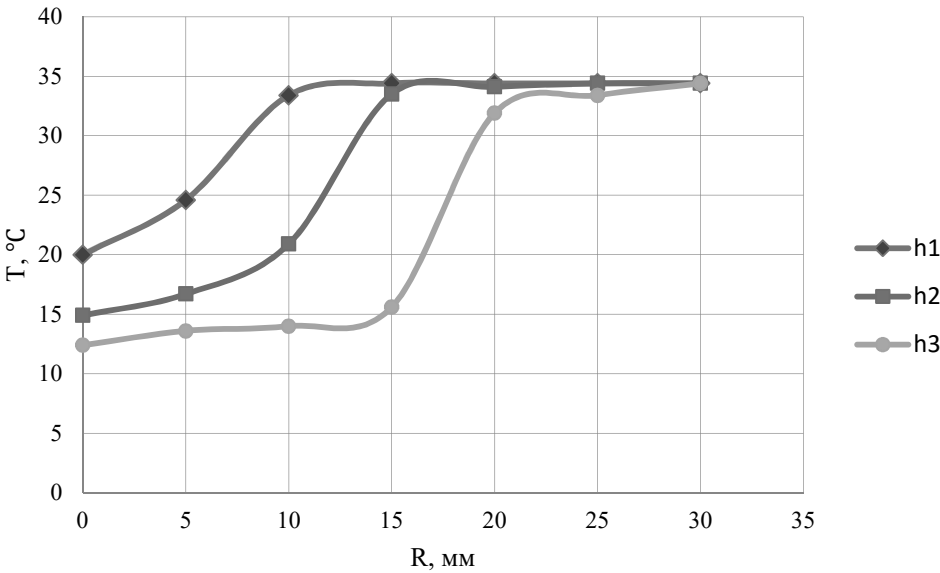


Рис. 5. Радиально-температурная зависимость:

T — температура, R — радиус из центра гемангиомы, h_1 — сигмоида, соответствующая толщине льда 0,3 мм, h_2 — сигмоида, соответствующая толщине льда 0,5 мм, h_3 — сигмоида, соответствующая толщине льда 0,7 мм

Пакет формул для расчета толщины гемангиомы:

$$Q_{пл} = \lambda \Delta t_{льда}, Q_{тепл} = mc \Delta T,$$

$$Q_{пл} = Q_{тепл}, \lambda \Delta t_{льда} = mc \Delta T,$$

$$\lambda \Delta \rho_{льда} h_{льда} S_{льда} = c \Delta T r_{гем} h_{гем} S_{гем},$$

$$h_{гем} = \frac{\lambda \rho_{льда} h_{льда} S_{льда}}{c \Delta T \rho_{гем} S_{гем}} = \frac{\lambda \rho_{льда} h_{льда}}{c \rho_{гем} \Delta T}$$

Справочные данные: λ , $c_{крови}$, $c_{тела человека}$, $\rho_{льда}$, $\rho_{гем(крови)}$ см. выше.

Расчет:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 37,4^\circ\text{C} - 22,5^\circ\text{C} = 14,9^\circ\text{C},$$

$$h_{льда} = 0,0005 \text{ м} = 0,5 \text{ мм},$$

$$h_{гем} = \frac{\lambda \rho_{льда} h_{льда}}{c \rho_{гем} \Delta T} = \frac{33 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,917 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,0005 \text{ м}}{3700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1060 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 14,9^\circ\text{C}} = 0,002589 \text{ м} = 2,5 \text{ мм}.$$

Результаты

В данной статье поставлена и решена задача создания метода и модели оценки толщины гемангиомы. Построены: концептуальная модель; системно-структурная модель; алгоритмическая модель; математическая модель.

Проведен эксперимент.

Выводы

Созданы предпосылки для апробации модели. Проведенный эксперимент подтверждает гипотезу.

Литература

1. Чалисов И. А., Хазанов А. Т. Руководство по патологоанатомической диагностике важнейших инфекционных заболеваний человека. М.: Медицина, 1980. 300 с.
2. Бубнов Р. В. Ультразвуковой контроль с помощью интегрированного применения трехмерных технологий // Международный медицинский журнал. 2011. № 2. С. 98–104.
3. Кармазановский Г. Г. Современное использование компьютерных томографов. М.: Издательский дом Видар-М. 2005. 124 с.
4. Синицин В. Е., Терновой С. К. Магнитно-резонансная томография в новом столетии // Радиология-практика. 2005. № 1(4). С. 23–29.
5. Гранов А. М. Позитронная эмиссионная томография. СПб.: Фолиант, 2008. 368 с.
6. Samand S. A., Maimunah A., Zulfiqar A., Zaharah M. Ultrasound and computed tomographic appearances of large hepatic cavernous hemangiomas // Med J. Malaysia. 1995. № 1(4). P. 82–86.
7. Федосов Е. А., Гольдштейн С. Л., Диомидов И. А. Структура и функционирование системы оценки толщины гемангиом // Тезисы I Междунар. молодежн. научн. конф., посвященной 65-летию основания Физико-технологического института. Екатеринбург: УрФУ, 2014. С. 99–100

Т. В. Ципуштанова, А. П. Лужецкая, В. А. Поддубный

ОЦЕНКА АЭРОЗОЛЬНОГО РАДИАЦИОННОГО ФОРСИНГА АТМОСФЕРЫ В ЕКАТЕРИНБУРГЕ, ТОМСКЕ И BRATTS LAKE (КАНАДА) ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА «AERONET»

Статья посвящена статистическому анализу связей прямого аэрозольного радиационного форсинга в коротковолновой области спектра с оптическими и микрофизическими характеристиками атмосферного аэрозоля. Построены линейные однофакторные и многофакторные статистические полуэмпирические модели для оценки аэрозольного радиационного форсинга.

Ключевые слова: аэрозольный радиационный форсинг, аэрозоль, статистический многофакторный анализ.

The article is devoted to linear statistical semi-empirical models for estimating aerosol radiation forcing (ARF). On the basis of the results of measurements of radiative and microphysical characteristics of aerosol the values of empirical coefficients are found. The article gives the results of comparison between linear single-factor models and multifactor models.

Keywords: aerosol radiation forcing, aerosol, statistical multivariate analysis.

Введение

Атмосфера является одним из самых динамичных компонентов окружающей природной среды. Состояние атмосферы Земли определяется множеством физических характеристик и процессов, химическим составом и другими факторами. Атмосфера представляет собой смесь различных газов и аэрозолей, которые играют важную роль в энергетическом балансе планеты, рассеивая и поглощая приходящее солнечное и исходящее земное излучение, а также изменяя микрофизические и радиационные свойства облаков.

Для количественной оценки прямого воздействия аэрозоля на радиационный бюджет атмосферы широко используется величина, называемая аэрозольным радиационным форсингом (АРФ) [1]. Обычно, прямой радиационный форсинг атмосферных аэрозолей $\Delta\Phi$, определяется как изменение в балансе радиационных потоков F атмосферы следующего вида:

$$\Delta\Phi = (F^{\downarrow a} - F^{\uparrow a}) - (F^{\downarrow 0} - F^{\uparrow 0}) \quad (1)$$

где стрелки обозначают направление потоков \downarrow — нисходящей и \uparrow — восходящей радиации; индекс «a» соответствует потокам радиации рассчитанным (или измеренным) в присутствии аэрозоля в атмосфере; индекс «0» — потокам радиации в условиях «базовой» атмосферы. В качестве базовых условий отсчета форсинга

обычно используют либо атмосферу доиндустриальной эпохи, либо «фоновую» атмосферу без антропогенного аэрозоля, или атмосферу с полным отсутствием аэрозоля.

В зависимости от приближений, используемых в климатических моделях, существует множество уточняющих вариаций общего определения радиационного форсинга. В любом случае, для оценки АРФ используют как данные измерений потоков радиации и свойств атмосферного аэрозоля, так и результаты численного моделирования процессов переноса солнечного и земного излучения в атмосфере.

В ряде случаев результаты численных решений уравнений переноса параметризуют, представляя радиационный форсинг в виде простых функций от определяющих параметров. Для парниковых газов в качестве определяющего параметра используют концентрации примеси в атмосфере [2], а для аэрозолей на локальном или региональном масштабах — аэрозольную оптическую толщину (АОТ) [3, 4], являющуюся мерой общего содержания аэрозольных частиц в атмосфере.

В отличие от газовой примеси, атмосферный аэрозоль не может быть описан только одним параметром (концентрацией или АОТ) — необходимо знать также функцию распределения частиц по размерам, химический состав, оптические свойства и другие характеристики. Однако до последнего времени, в простых формулах параметризации использовались лишь однофакторные линейные или нелинейные зависимости АРФ от величины АОТ, что представляется существенным ограничением.

Задача настоящего исследования — разработка полуэмпирических моделей связей прямого аэрозольного радиационного форсинга в коротковолновой области спектра на верхней границе атмосферы с оптическими характеристиками атмосферного аэрозоля по данным измерений на трех континентальных пунктах мониторинга, расположенных в России и Канаде.

Исходные данные и корреляционный анализ

На сегодняшний день, самой информативной наземной системой мониторинга свойств атмосферного аэрозоля является сеть почти двухсот спектральных солнечных фотометров «AERONET» (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), распределенных по всему миру. В рамках этой сети мониторинга на основе единой приборной базы и единой системы калибровки, по единым алгоритмам обработки результатов измерений восстанавливается более десятка наиболее важных характеристик атмосферного аэрозоля [5, 6]. Массив результатов текущих измерений и архив данных мониторинга за предшествующие годы находятся в открытом доступе, обеспечивая наилучший, наиболее полный источник исходной информации для решения поставленной задачи.

В качестве входных данных для статистического анализа и построения полуэмпирических моделей в настоящем исследовании используются результаты измерений, полученные в трех пунктах мониторинга

«AERONET»: Екатеринбург, Томск и Bratts Lake (Канада), классифицируемые в работе [7] как континентальные.

При разработке статистических моделей АРФ на верхней границе атмосферы, в качестве аргументов таких моделей должны присутствовать статистически независимые предикторы. На основе статистического анализа, парных коэффициентов корреляций множества измеряемых параметров аэрозоля для построения полуэмпирических моделей были выбраны наиболее статистически значимые независимые характеристики аэрозоля. Установлено, что потоки коротковолновой радиации, восстанавливаемые по данным спектральных измерений как прямого, так и рассеянного солнечного излучения, существенно зависят от следующих параметров: аэрозольная оптическая толщина τ_λ для длины волны 0,5 и 0,675 мкм; спектральное альbedo однократного рассеяния аэрозоля ω_λ для длины волны 0,675 мкм; альbedo подстилающей поверхности A (АПП) для длины волны 0,675 мкм.

В перечень исходных данных для построения моделей входят также оценки спектральных и широкополосных потоков солнечной радиации, прямого аэрозольного радиационного форсинга в коротковолновом диапазоне солнечного излучения (0,2...4 мкм) на верхней границе атмосферы, задаваемый формулой

$$\Delta F_s = (F_s^{\uparrow 0} - F_s^{\uparrow a}) \quad (2)$$

где индексом « v » обозначен верхний уровень атмосферы, а в качестве начала отсчета АРФ используется модельная атмосфера с полным отсутствием аэрозоля.

В настоящем исследовании использовались результаты измерений, прошедшие окончательный контроль качества, т. е. данные уровня 2 (по классификации «AERONET», см. [8]), полученные за десятилетний период измерений с 2004 по 2014 гг. Полное количество членов в таких выборках составило 702 для Екатеринбурга, 1271 для Томска и 3177 для Bratts Lake. В связи с тем, что при решении обратных задач восстановление альbedo однократного рассеяния и комплексного показателя преломления надежно осуществляется лишь для относительно высоких значений АОТ, дополнительная фильтрация исходных данных приводит к сокращению итоговых выборок до 95 членов для Екатеринбурга, 73 для Томска и 81 для Bratts Lake.

По данным «AERONET» на верхней границе атмосферы АРФ может принимать как отрицательные, так и положительные значения в диапазоне от +18 до -106 Вт/м^2 , при медианном значении $-48,2 \text{ Вт/м}^2$ для Екатеринбурга. Для Томска диапазон значений от +80 до -86 при медианном значении -25 Вт/м^2 . Для Bratts Lake диапазон значений от $-21,2$ до $-54,3$ при медианном значении -30 Вт/м^2 . Отметим, что положительные значения АРФ свидетельствуют о нагреве атмосферы, а отрицательные — о ее выхолаживании.

Однофакторная регрессионная модель

Простейшей статистической моделью АРФ является уравнение линейной регрессии, в котором единственным предиктором служит величина АОТ

на длине волны 0,5 мкм, а влияние всех остальных оптических и микрофизических параметров аэрозоля учитывается с помощью аддитивной константы. Для построения однофакторной регрессионной модели использовались данные измерений, выполненных только в теплый период времени, при отсутствии снежного покрова. В этом случае выполняется условие — АПП не превышает значения 0,4. В результате, итоговая выборка для однофакторной линейной модели составила следующие значения: Екатеринбург — 91 член выборки, Томск — 65, Bratts Lake — 81. Такой подход вполне допустим, т. к. АРФ наиболее сильно коррелирует именно с АОТ, измеряемой только в теплые периоды года. На множестве исходных данных, объединенных для всех трех континентальных пунктов мониторинга, методом наименьших квадратов были найдены значения коэффициентов регрессионных линейных зависимостей, которые оказались статистически значимыми на уровне значимости 0,05. В результате получена статистическая полуэмпирическая модель аэрозольного форсинга на верхней границе атмосферы

$$\Delta F_v = -47,6 \cdot \tau_{0,5} - 7,1, \text{ при } R^2 = 0,89 \quad (3)$$

где R^2 — коэффициент детерминации, определяющий качество регрессионной модели.

Тестирование полученной модели для выборок, соответствующих отдельным пунктам мониторинга приводит к следующим достаточно высоким значениям коэффициента детерминации R^2 : Екатеринбург — 0,89; Томск — 0,84; Bratts Lake — 0,76.

На рис. 1 показаны исходные значения величин АРФ на верхней границе атмосферы, а также такие найденные линейные зависимости, как функции от АОТ на длине волны 0,5 мкм. Как видно из рисунка, линейная регрессия довольно хорошо описывает множество значений АРФ (при высоких значениях АОТ).

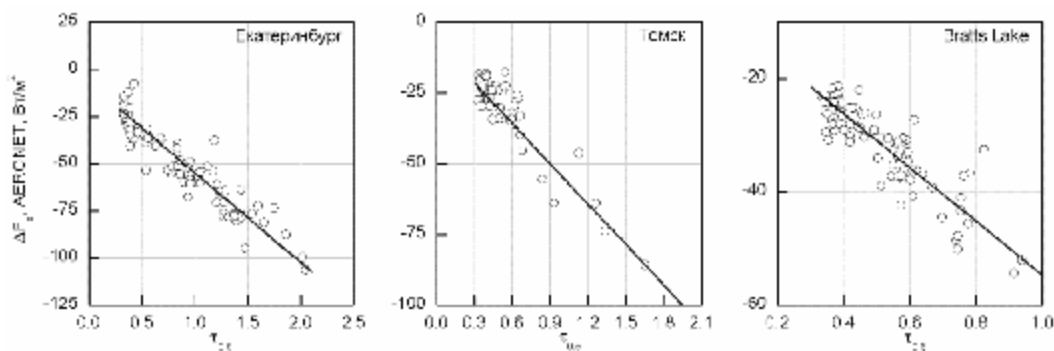


Рис. 1. Зависимости АРФ от величины $\tau_{0,5}$ для однофакторных линейных регрессионных моделей на верхней границе атмосферы, уравнение (3)

Многофакторная регрессионная модель

Повышения качества модели можно достигнуть путем учета других характеристик аэрозоля, т. е. включением в уравнение модели дополнительных предикторов.

В отличие от однофакторной модели, в данном случае можно попытаться построить более универсальную модель на основе результатов всех измерений без выделения различных сезонов года. В результате, на проанализированном множестве всех исходных данных (при произвольных альбедо подстилающей поверхности) получена следующая статистическая полуэмпирическая линейная многофакторная модель АРФ:

$$\Delta F_g = -56,2 \cdot \tau_{0,675} - 130,8 \cdot \omega_{0,675} + 116,4 \cdot A_{0,675} + 98,9, \text{ при } R^2 = 0,94. \quad (4)$$

Исследование многофакторной модели для выборок, соответствующих отдельным пунктам мониторинга приводит к следующим достаточно высоким значениям коэффициентов детерминации: Екатеринбург и Томск — $R^2 = 0,95$; Bratts Lake — $R^2 = 0,66$.

Как и ожидалось, коэффициент детерминации увеличился по сравнению с простой (однофакторной) регрессионной моделью (см. формулу (3)), но только для Екатеринбурга и Томска. В пункте Bratts Lake коэффициент детерминации уменьшился. Это можно объяснить тем, что измерения в этом пункте мониторинга проводились исключительно в летний период и АПП изменяется незначительно от 0,06 до 0,17 ($\Delta A_{0,675} = 0,11$). Для сравнения, в Томске АПП меняется от 0,06 до 0,72 и $\Delta A_{0,675} = 0,66$, т. е. общий диапазон изменения АПП в 6 раз больше, чем в Bratts Lake.

Рис. 2 демонстрирует результаты сравнения исходных данных АРФ по «AERONET» и соответствующих величин, рассчитанных по многофакторной статистической модели (4).

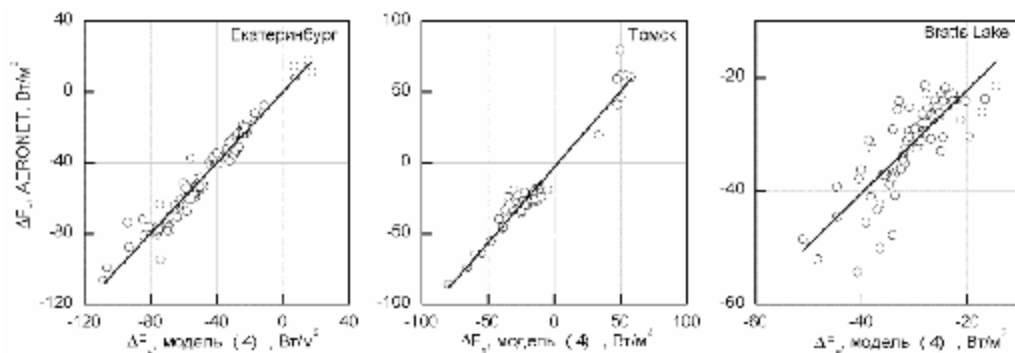


Рис. 2. Диаграммы рассеяния, рассчитанные по данным AERONET, и модели множественной линейной регрессии (4) для АРФ на верхней границе атмосферы

Таким образом, выполненный статистический анализ показывает, что АРФ на верхней границе атмосферы определяется аэрозольной оптической толщиной, альбедо однократного рассеяния, альбедо подстилающей поверхности.

Предлагаемые линейные простые многофакторные регрессионные модели АРФ, как всякие статистические модели, «наилучшим» образом описывают множество исходных данных только в том диапазоне параметров аэрозоля,

внутри которого были найдены коэффициенты модели. Использование этих моделей вне указанного диапазона значений предикторов может привести к получению некорректных результатов. Кроме того, линейные модели не имеют физического содержания. Например, при стремлении к нулю количества аэрозоля в атмосфере ($\tau \rightarrow 0$) эти модели не обеспечивают стремление к нулю значений АРФ. Нелинейный характер физической взаимосвязи АРФ с определяющими их характеристиками аэрозоля в таких моделях не учитывается, что приводит к необходимости выделять узкие диапазоны изменения параметров (например, выделять классы аэрозоля, сезоны года и др.), а внутри них разрабатывать свои модели.

Выводы

Выполнен статистический анализ связей прямого аэрозольного радиационного форсинга в коротковолновой области спектра с оптическими и микрофизическими характеристиками атмосферного аэрозоля. Для этого выбраны три пункта мониторинга сходных по климатическим условиям окружающей природной среды, данные результатов измерений характеристик аэрозоля которых представлены в информационной системе «AERONET».

Предложено использовать многофакторный регрессионный анализ для построения простых моделей «АРФ — параметры аэрозоля», поскольку характеристика атмосферного аэрозоля с помощью единственного параметра (обычно это АОТ) не является полной. Показано, что многофакторные модели имеют более высокое качество, т. е. более высокие коэффициенты детерминации по сравнению с моделями, связывающими АРФ только с аэрозольной оптической толщиной.

Благодарность

Авторы работы выражают благодарность С. А. Бересневу, С. Ю. Горде (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия); Т. Б. Журавлевой, С. М. Сакерину, М. В. Панченко, Д. М. Кабанову, (Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия); B. N. Holben, A. V. Smirnov (Центр космических полетов Годдарда (GSFC/NASA), Greenbelt, USA).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований ИПЭ УрО РАН № 15-ИПЭ-03 и проекта фундаментальных и поисковых научных исследований, выполняемого в рамках соглашения о сотрудничестве УрФУ и УрО РАН, «Моделирование процессов переноса атмосферного аэрозоля».

Литература

1. Myhre G., Shindell D., Bréon F.-M., Collins W., Fuglestad J., Huang J., Koch D., Lamarque J.-F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T., Zhang H. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2013. P. 659–740.

2. Ramaswamy V., Boucher O., Haigh J., Hauglustaine D., Haywood J., Myhre G., Nakajima T., Shi G. Y., Solomon S. Radiative Forcing of Climate Change // *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2001. P. 349–416.
3. Procopio A. S., Artaxo P., Kaufman Y. J., Remer L. A., Shafer J. S., Holben B. N. Multiyear Analysis of Amazonian Biomass Burning Smoke Radiative Forcing of Climate // *Geophys. Res. Letters*. 2004. Vol. 31. P. L3108.
4. Ситнов С. А., Горчаков Г. И., Свириденков М. А., Копейкин В. М., Пономарева Т. Я., Карпов А. В. Влияние атмосферной циркуляции на эволюцию и радиационный форсинг дымового аэрозоля на европейской части России летом 2010 г. // *Исследование Земли из космоса*. 2013. № 2. С. 28–41.
5. Dubovik O., King M. A Flexible Inversion Algorithm for Retrieval of Aerosol Optical Properties from Sun and Sky Radiance Measurements // *J. Geophys. Res. D*. 2000. Vol. 105. No. 16. P. 20673–20696.
6. Dubovik O., Holben B., Eck T., Smirnov A., Kaufman Y., King M., Tanré D., Slutsker I. Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations // *J. Atmos. Sci.* 2002. Vol. 59. No. 3. P. 590–608.
7. Garcia O. E., Diaz J. P., Exposito F. J., Diaz A. M., Dubovik O., Dermian Y., Dubuisson P., Roger J.-C. Shortwave Radiative Forcing and Efficiency of Key Aerosol Types Using AERONET data // *Atmos. Chem. Phys.* 2012. Vol. 12. P. 5129–5145.
8. Сакерина С. М. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2012. 482 с.

Д. В. Чайкин, А. С. Вохминцев, И. А. Вайнштейн

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Разработан измерительный канал для исследований процессов люминесценции широкозонных материалов в видимой и УФ областях спектра при варьировании температур в диапазоне от 6,5 до 295 К. Работоспособность реализованного тракта и достоверность получаемой информации о параметрах свечения твердотельных сред различной природы продемонстрированы на примере регистрации спектров фотолюминесценции объемного монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и нановискеров AlN. При этом для наноструктурного нитрида алюминия экспериментально показано наличие эмиссионных полос 2,89 (429 нм) и 2,77 (447 нм) эВ, которые ранее были выделены в рамках многокомпонентной аппроксимации однородно уширенных люминесцентных кривых, измеренных при комнатной температуре.

Ключевые слова: фотолюминесценция, температура жидкого гелия, монокристалл $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, нановискеры AlN.

Measuring channel for research of visible and ultraviolet luminescence in wide-gap materials varying the temperature in the range from 6,5 to 295 K was developed. Operational possibilities of the implemented tract and reliability of information about parameters of the emission in different solids were demonstrated taking as the example of photoluminescence spectra registration in $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ bulk single crystal and AlN nanowhiskers. Presence of 2,89 (429 nm) and 2,77 (447 nm) eV emission bands in nanostructured aluminum nitride was demonstrated clearly by experiment. Previously the peaks were isolated only in frame of multicomponent deconvolution of homogeneously broadened luminescent curves measured at room temperature.

Keywords: photoluminescence, liquid helium temperature, LHT, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ single crystal, AlN nanowhiskers.

Экспериментальные исследования процессов фотолюминесценции при низких температурах вплоть до температуры жидкого гелия (ЛХТ) позволяют минимизировать эффекты уширения спектральных полос, возникающие вследствие динамического атомного разупорядочения в кристаллической решетке. Благодаря этому можно получать фундаментальную информацию об электронной структуре твердых тел, особенностях процессов с участием экситонов, характеристиках тушения и разгорания фотостимулированной эмиссии, параметрах электрон-фононного взаимодействия и др. [1–3]. Цель данной работы заключалась в разработке измерительного канала для исследований процессов люминесценции широкозонных твердых материалов в различных структурных состояниях (массивные монокристаллы, порошки, керамика, наноструктуры и т. д.) в диапазоне температур 6,5...295 К.

Аппаратное обеспечение

Установка была реализована на базе гелиевого криостата замкнутого цикла «Janis CCS-100/204N» с вакуумным постом «Pfeiffer Vacuum HiCube 80 Eco», обеспечивающим давление в камере до 10^{-5} мбар, гелиевого компрессора с водяным охлаждением «Sumitomo HC-4E1» и криогенного регулятора температуры «LakeShore 335». Образец устанавливается на позолоченный медный держатель, который свободно ориентируется относительно четырех прозрачных окон, изготовленных из плавленого кварца, с целью использования различной оптической геометрии.

В качестве источника возбуждения фотолюминесценции (ФЛ) применялся твердотельный лазер с диодной накачкой DTL-389QT на кристалле иттрий-литиевого фторида, активированного ионами неодима (НПФ «Лазер-компакт»). Лазер работает в импульсном режиме на трех длинах волн (263, 527 и 1053 нм), позволяет изменять частоту следования импульсов в диапазоне 0,01–10 кГц и энергию в импульсе от 0 до 100 % путем изменения тока накачки. Длительность лазерного импульса менее 5 нс, и средняя энергия в импульсе 10 мкДж.

Свечение образцов регистрировалось с использованием спектрографа «Andor Shamrock SR-303i», оснащенного моторизированной турелью с дифракционными решетками 2400 линий/мм, 1200 линий/мм с максимумом 300 нм и 500 нм. Спектрограф оборудован ПЗС-детектором с диапазоном спектральной чувствительности 200–1100 нм «Andor Newton EMCCD DU970P» и термоэлектрическим рециркуляционным чиллером «Oasis 160». Для управления процессом измерения и синхронизации работы отдельных блоков модуля использовалось программное обеспечение «Andor Solis». Оценка плотности мощности лазерного излучения выполнялась с помощью измерителя «Ophir Vega» с детектором PD300-UV.

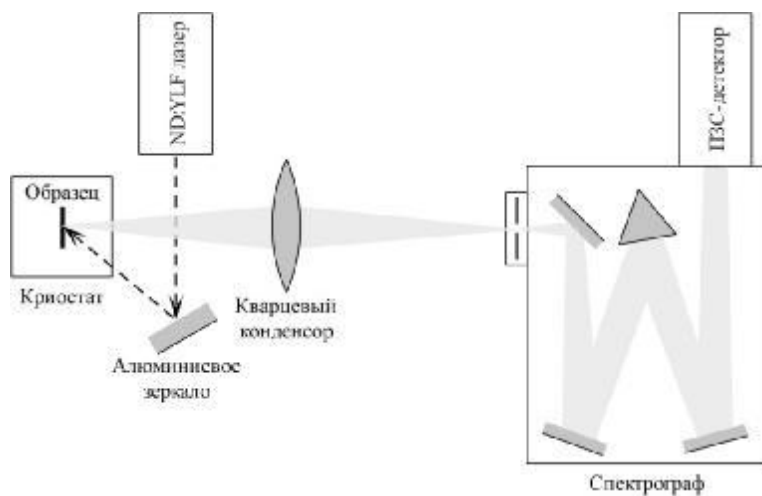


Рис. 1. Оптическая схема измерительного канала

На рис. 1 представлена оптическая схема разработанного измерительного канала с фронтальным возбуждением. Алюминиевое зеркало применялось

для отражения лазерного излучения в плоскость образца, а кварцевый конденсор для фокусировки возбужденного свечения на входную щель спектрографа.

Образцы и методика эксперимента

Для тестирования разработанного канала были выбраны два типа образцов твердотельных широкозонных соединений в различных структурных состояниях — анион-дефектный монокристалл $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ($E_g \approx 9,0$ эВ), выращенный методом Степанова [4] в виде таблетки диаметром 5 мм и толщиной 1 мм, и нановискеры AlN ($E_g = 6,2$ эВ) со средним диаметром 68 ± 22 нм и аспектом более 100, способ синтеза которых подробно описан в работе [5]. Исследования процессов ФЛ объемного и нитевидных образцов проводились с использованием твердотельного ПЗС-детектора. Спектры свечения регистрировались в режиме накопления сигнала в диапазонах 290...380 нм для монокристалла и 300...650 нм для нановискеров. Возбуждение ФЛ осуществлялось лазерным излучением с длиной волны 263 нм и частотой следования импульсов 1 кГц. Измерения выполнялись в процессе охлаждения образца с последовательным термостатированием в четырнадцати контрольных точках для $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$: в диапазонах температур 295...150 К с шагом 50 К, 120...90 К с шагом 10 К, при 77 К, 70...10 К с шагом 20 К и при 6,5 К. Для образцов наноструктурного AlN термостатирование проводилось в трех контрольных точках — 295, 77 и 6,5 К.

Для сравнения и проверки достоверности полученных результатов спектры ФЛ для всех образцов были измерены также на флуоресцентном спектрометре Perkin Elmer LS55 при комнатной температуре. При этом использовались режимы флуоресценции для монокристалла и фосфоресценции для нановискеров с возбуждением ксеноновой лампой в полосе 263 нм. Для регистрации ФЛ монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и нановискеров AlN в настоящей работе применялись дифракционные решетки 1200 линий/мм с максимумом 300 нм и 500 нм соответственно.

Экспериментальные результаты

На первом этапе работоспособность измерительного канала была протестирована путем регистрации спектров ФЛ анион-дефектного монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, которые широко представлены в литературе [см. ссылки в 4, 6].

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости свечения ФЛ, измеренные в процессе охлаждения образца. Видно, что при понижении температуры интенсивность люминесценции возрастает, и положение максимума смещается в коротковолновую область. Ниже 77 К внешний вид измеренных кривых практически не меняется.

Наблюдаемая полоса обусловлена излучательной релаксацией F^+ -центров, имеет энергию максимума $E_{max} = 3,80$ эВ (326 нм) и полуширину $\omega = 0,33$ эВ при 77 К. Полученные параметры хорошо согласуются с результатами $E_{max} = 3,82$ эВ (325 нм) и $\omega = 0,34$ эВ независимых исследований [6], где свечение анионных центров возбуждалось фотонами с длиной волны 257 нм. Несущественные отличия могут быть

обусловлены различным генезисом люминесцирующих кислород-дефицитных дефектов: в наших образцах — ростовое происхождение, в работе [6] — в результате нейтронного облучения.

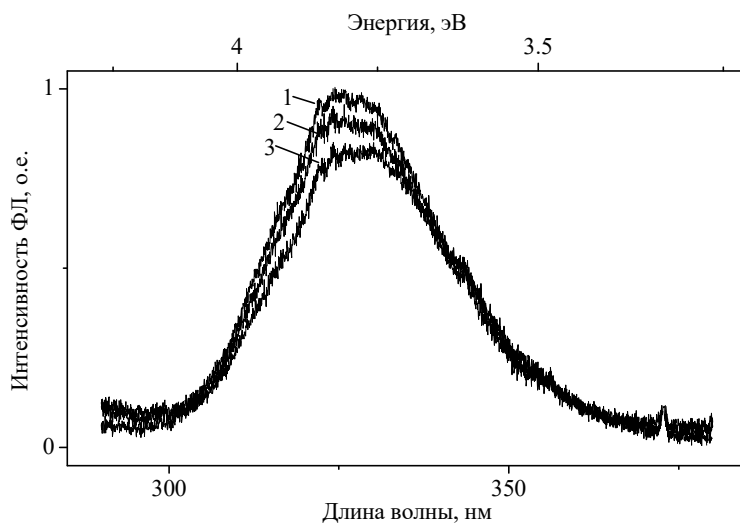


Рис. 2. Спектры ФЛ монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, измеренные при различных температурах:
1 — 6,5 К; 2 — 100 К; 3 — 200 К

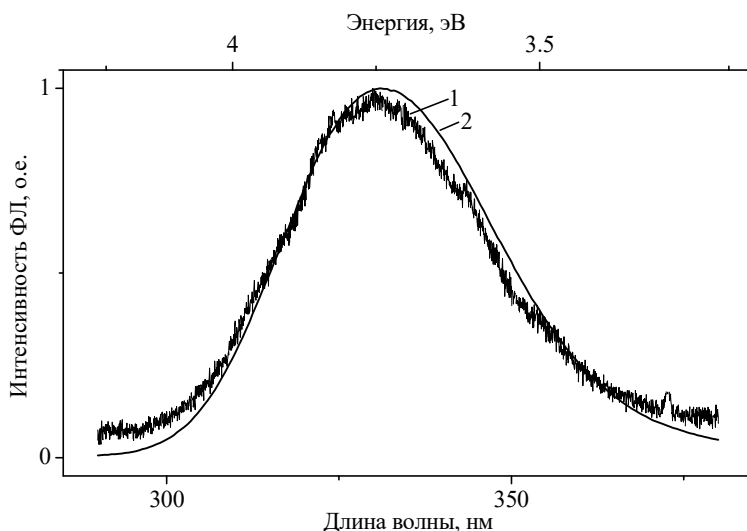


Рис. 3. Спектры ФЛ монокристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, измеренные при комнатной температуре с использованием:
1 — разработанный модуль; 2 — спектрометр LS55

На рис. 3 представлено сравнение спектров свечения образца $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, полученных при комнатной температуре на разработанном модуле и спектрометре LS55. Видно, что кривые совпадают и по форме, и по положению пика. Наблюдаемые

несущественные отличия могут быть связаны, в частности, с разной плотностью возбуждения, спектральной шириной щели, чувствительностью детекторов и другими аппаратными особенностями измерительных трактов. Действительно, количественная оценка показала, что плотность мощности излучения лазера (200 мДж/см^2) почти в 300 раз превышает плотность мощности излучения ксеноновой лампы (720 мкДж/см^2), установленной в спектрометре LS55.

На рис. 4 представлены спектры свечения нитевидных образцов нитрида алюминия, полученные при разных температурах. Узкая полоса 527 нм относится ко второй гармонике возбуждающего лазера. Исследование нановискеров AlN показало, что в спектрах разрешаются три максимума с энергиями $E_{\text{max}} = 2,89$ (429 нм), $2,77$ (447 нм) и $2,66$ (467 нм) эВ (см. рис. 4). Ранее в наших работах была зарегистрирована широкая полоса свечения при изучении фото- и электролюминесцентных (ЭЛ) свойств нитевидного AlN на спектрометре LS55 при комнатной температуре [7, 8]. Отметим, что в [7] бесструктурная кривая, наблюдаемая при комнатной температуре и возбуждении 250 нм , была аппроксимирована тремя гауссовыми компонентами, в том числе с энергией максимума $E_{\text{max}} = 2,90 \text{ эВ}$ (428 нм) и полушириной $\omega = 0,43 \text{ эВ}$. При разложении спектров ФЛ в объемных монокристаллах AlN и спектров ЭЛ в нановискерах AlN также присутствовали близкие пики с $E_{\text{max}} = 2,77 \text{ эВ}$ (448 нм) [7] и с $E_{\text{max}} = 2,75 \text{ эВ}$ (451 нм) [8].

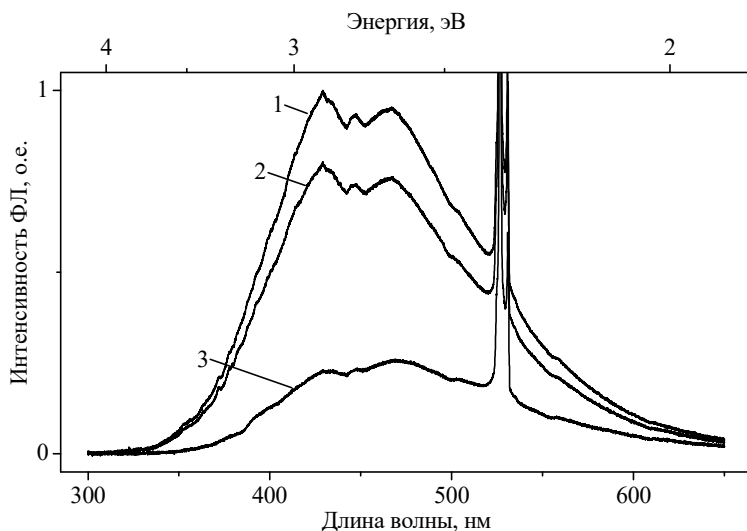


Рис. 4. Спектры ФЛ нановискеров AlN , измеренные при различных температурах:
1 — $6,5 \text{ К}$; 2 — 77 К ; 3 — 295 К

Таким образом, два спектральных максимума — $2,89$ (429 нм) и $2,77$ (447 нм) эВ — явно зарегистрированных в настоящей работе с использованием разработанного низкотемпературного канала, уже были селективированы ранее при численном анализе однородно уширенных люминесцентных зависимостей в разных

структурах нитрида алюминия. Необходимо отметить, что при охлаждении образцов до 6,5 К интенсивность ФЛ возрастает в четыре раза, и происходит перераспределение вкладов наблюдаемых спектральных компонент в результирующую эмиссию образца. Изложенные факты позволяют говорить о достоверности получаемых результатов и высокой чувствительности тестируемого модуля.

На рис. 5 представлено сравнение полученных кривых ФЛ при комнатной температуре. Видно, что регистрируемые спектры для анализируемых нановискеров AlN близки по форме. Однако, в случае измерения с использованием спектрометра LS55 пик несколько шире и отдельные максимумы при этом не разрешаются. Наблюдаемые отличия измеренных зависимостей могут быть связаны с различной плотностью возбуждения процессов ФЛ в наноструктурированных образцах, а также с аппаратными факторами, описанными выше.

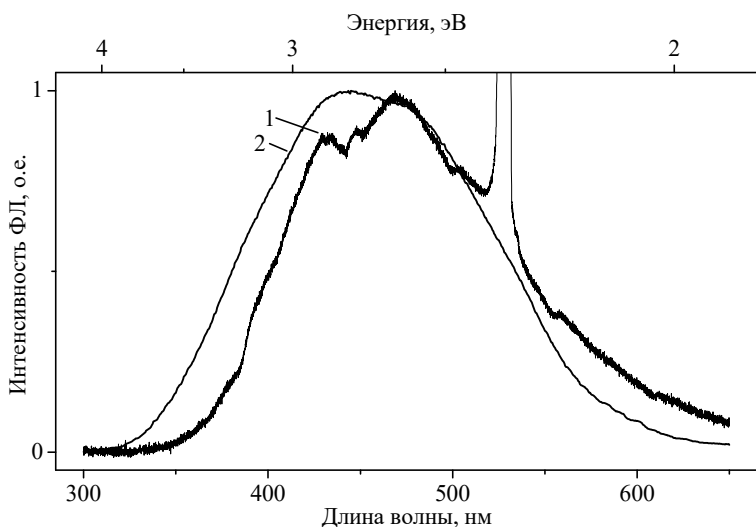


Рис. 5. Спектры ФЛ нановискеров AlN, измеренные при комнатной температуре с использованием:
1 — разработанного модуля; 2 — спектрометра LS55

Заключение

Разработана структурная схема и реализован измерительный канал на основе гелиевого криостата Janis CCS-100/204N для исследований процессов люминесценции широкозонных твердых материалов в различных структурных состояниях в диапазоне температур от 6,5 до 295 К. Продемонстрированы возможности созданной установки на примере измерений фотолюминесценции в анион-дефектном монокристалле $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и нановискерах AlN при лазерном возбуждении. Проведен сравнительный анализ регистрируемых спектров ФЛ для образцов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и AlN при различных температурах с независимыми литературными данными и с результатами, полученными на серийном флуоресцентном спектрометре Perkin Elmer LS55.

В ходе тестирования показано, что полоса ФЛ, связанная с излучательной релаксацией F^+ -центров в кислород-дефицитном монокристалле $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, имеет энергию максимума $E_{\text{max}} = 3,80$ эВ (326 нм) и полуширину $\omega = 0,33$ эВ при температуре 77 К. Полученные параметры находятся в хорошем согласии с известными данными. Обнаружено, что для нановискеров AlN в спектрах ФЛ разрешаются три максимума с энергиями $E_{\text{max}} = 2,89$ (429 нм), 2,77 (447 нм) и 2,66 (467 нм) эВ. Полоса 2,77 эВ (447 нм) ранее не наблюдалась в спектрах фотолюминесценции нановискеров AlN, однако присутствовала в объемных монокристаллах AlN и в спектрах электролюминесценции нитевидного AlN. Таким образом, разработанный измерительный канал позволяет получать достоверные данные о параметрах свечения твердотельных сред различной природы в широком температурном диапазоне и с высоким спектральным разрешением, а также может быть использован при выполнении поисковых научно-исследовательских работ фундаментальной направленности.

Литература

1. Pelant I., Valenta J. Luminescence Spectroscopy of Semiconductors. Oxford University Press, 2012. P. 560.
2. Ronda C. (Eds.). Luminescence: From Theory to Applications. Wiley-VCH. 2008. P. 260.
3. Гурвич А. М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М.: «Высшая школа», 1971. С. 336.
4. Вохминцев А. С. Термолюминесценция в полосе 2,4 эВ облученных анионодефектных монокристаллов оксида алюминия: дис. канд. ф.-м. наук: 01.04.2007. Екатеринбург, 2009. С. 147.
5. Способ получения нитевидного нитрида алюминия: пат. 2106298 Рос. Федерация. № 96117062/02; заявл. 04.09.96; опубл. 10.03.98.
6. Evans B. D., Stapelbroek M. Optical Properties of the F^+ Center in Crystalline Al_2O_3 // Physical Review B. 1978. V. 8. № 12. P. 7089–7098.
7. Vokhmintsev A. S., Weinstein I. A., Chaikin D. V., Spiridonov D. M., Afonin Yu. D. Photoluminescence Characterisation of AlN Nanowhiskers // Functional Materials. 2014. V. 21. № 1. P. 21–25.
8. Вохминцев А. С., Вайнштейн И. А., Чайкин Д. В., Федоров М. Д., Афонин Ю. Д. Синяя электролюминесценция нановискеров AlN // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. Вып. 7. С. 53–61.

РАЗДЕЛ 2

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. А. Булдакова, А. Г. Кудрявцев

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ РАЗРЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ, ОСНОВАННОЙ НА УПРАВЛЕНИИ ФАКТОРАМИ

Существуют довольно мощные средства систем поддержки принятия решений на тактическом и технологическом уровнях. Предлагается разработать универсальную технологию системы поддержки принятия решений на стратегическом уровне. Предлагаемый вариант допускает замещение векторов факторов текстовыми описаниями, для которых строятся семантические сети, а также производится их последующая хеш-кластеризация с получением скалярного семантического фактора. После нахождения требуемого приращения фактора происходит поиск различных вариантов семантических подсетей исходной совокупной сети, хеш-значения которых равны требуемому приращению, а затем явно указываются термины и связи между ними, которые должны присутствовать в описании цели разрешения ситуации.

Ключевые слова: *системы поддержки принятия решений, интеллектуальные системы, стратегическое управление, решение задач.*

There are quite powerful tools of decision support systems on tactical and operational levels. It is proposed to develop a universal technology of decision support system on the strategic level. The proposed variant allows the substitution vectors of factors for textual descriptions. Semantic networks are built on these descriptions and then there is their subsequent hash clusterization to produce a scalar semantic factor. Upon finding the desired increment of factor it begins a search of various options subnets of initial set of semantic network, the hash values of which are equal to the desired increment. Then, the terms and the connections between them, which should be present in the description of the purpose of resolving the situation, are clearly indicated.

Keywords: *decision support systems, intelligent systems, strategic management, problem solving.*

Известно [1, 2], что имеется три уровня возможных подсказок по разрешению проблемных ситуаций: стратегический, тактический и технологический.

В первом случае подсказка должна позволять разработать стратегию* разрешения ситуации (например, с помощью указания её причины).

Во втором случае она должна указать последовательность действий по разрешению ситуации желательно в соответствии с уже выбранной стратегией. Существенно, что данные действия не предполагают технологической детализации.

В третьем случае она схожа с описанной выше, но либо является предписанием в рамках конкретной технологии, либо показывает, как надо её изменить.

* Здесь и далее стратегия понимается в классическом (не теоретико-игровом) смысле

На сегодняшний день имеются достаточно мощные средства интеллектуальной компьютерной поддержки разрешения проблемных ситуаций на тактическом и технологическом уровнях [3-5]. Что касается подсказки стратегического уровня, то из приведенного нами литературного обзора видно, что такая возможность есть только при наличии априорной базы возможных подсказок, составленной экспертом [6].

Описанное выше, в свою очередь, порождает проблемную ситуацию более высокого ранга, связанную с вынужденным получением подсказок тактического иди технологического уровня при отсутствии стратегии. При невысокой сложности объекта, с которым связана ситуация, указанные действия могут оказаться успешными, а при высокой мы можем реально рассчитывать лишь на положительную динамику процесса при отсутствии конечного результата.

Таким образом, актуальна задача разработки универсальной технологии компьютерной подсказки по разрешению проблемной ситуации на стратегическом уровне без участия эксперта в формировании подсказок.

Итоги литературного обзора

Был произведен литературный обзор ряда аналогов с последующей оценкой по следующим критериям:

- отсутствие исходных эмпирических данных по подсказкам;
- простота реализации;
- равнозатратность работы с предметными и системными знаниями [2];
- возможность подсказки стратегического уровня;
- ясность описания в общем;
- простота восстановления математического обеспечения имитации решений по литературному описанию;
- простота восстановления математического обеспечения достройки базы знаний по литературному описанию.

Наилучшим аналогом является система и технология управления качеством на основе диагностики [5] (хотя, с нашей точки зрения, система поддержки принятия решений по проблемным ситуациям, основанная на управлении факторами).

В соответствии с рассматриваемой технологией имеется производственный объект (хотя, с нашей точки зрения, допустим более широкий класс объектов), с которым связана проблемная ситуация.

Сам этот объект охарактеризован параметрами по технологии и качеству собранными в два соответствующих массива (или вектора), а признаком проблемной ситуации является отсутствие принадлежности вектора качественных параметров требуемому целевому множеству.

Также предположено, что имеются накапливаемые эмпирические данные, необходимые, например, для нахождения зависимости качества от технологии с помощью имеющихся решающих правил.

Для описания ситуации следует указать векторы качественных параметров: реальный (\tilde{Y}) и желаемый (Y^*). Подсказка по разрешению ситуации имеет вид: (\tilde{X} , ΔX), где \tilde{X} — разведанный вектор технологических параметров, соответствующий реальному состоянию, ΔX — приращение вектора технологических параметров, необходимое для достижения желаемого состояния.

Из сказанного ясно, что имеющийся прототипный метод реализует подсказку технологического уровня.

Предлагаемое решение

Нами предложено развитие имеющейся технологии, позволяющее реализовать также и подсказку стратегического уровня.

Суть предлагаемого решения

Прототипная система реализует подсказку при наличии описания ситуации в виде упорядоченного списка векторов технологических параметров объекта (как факторов) и характеристик его качества (как откликов). Сама подсказка имеет вид требуемого приращения вектора факторов.

В предлагаемом варианте мы допускаем замещение векторов факторов текстовыми описаниями, построение семантических сетей для этих описаний и их последующую хеш-кластеризацию [7] с получением скалярного семантического фактора.

На момент нахождения его требуемого приращения (по прототипу) строим различные варианты семантических подсетей исходной совокупной сети, хеш-значения которых равны требуемому приращению, а затем явно указываем термины и связи между ними, которые необходимо должны присутствовать в описании цели разрешения ситуации. Для нахождения самого этого описания могут быть использованы поисковые машины и анализаторы текстов.

Механизм предлагаемого решения

Прежде всего, заметим, что последовательный сбор эмпирических данных представляется естественным для попыток разрешения ситуации на технологическом уровне без стратегии (см. в начале статьи). При этом мы можем рассмотреть векторы откликов и факторов, полученные при последнем наблюдении, соответственно, как \tilde{X} и \tilde{Y} (т. е. без разведки причины реального состояния, но с необходимостью указания требуемого приращения ΔX).

Мы допускаем также, что при описании текущей попытки разрешить ситуацию возможна замена вектора технологических параметров текстовым описанием этой попытки. Для каждого из текстовых описаний может быть построена семантическая сеть в предположении наличия ранжированного списка терминов текста, описывающего незавершённый процесс разрешения ситуации (см. в начале статьи).

Тогда мы можем провести хеш-кластеризацию [7] матриц смежности всех семантических сетей, в результате чего каждой из них может быть поставлен в соответствии числовой (скалярный) образ, играющий роль семантического параметра.

Кроме того, на момент нахождения требуемого изменения этого параметра мы можем указать глубинный смысл этого изменения, находя такую семантическую сеть, в результате хеш-кластеризации которой мы его получаем.

По найденной семантической сети может быть произведен семантический поиск при существенной роли как каждого из терминов в вершинах, так и отмеченных связей, в результате которого мы находим причину проблемной ситуации. Это соответствует стратегическому уровню подсказки.

Результаты и выводы

В ходе проведенного литературного обзора были найдены аналоги, выбраны критерии для их оценки, произведен анализ аналогов по выбранным критериям, после чего был найден прототип системы поддержки разрешения проблемных ситуаций. Кроме того, была проведена критика прототипа, а также выдвинут механизм развития имеющейся технологии.

Таким образом, была разработана универсальная технология компьютерной подсказки по разрешению проблемной ситуации на стратегическом и технологическом уровнях без участия эксперта в формировании подсказок.

Литература

1. Филиппович А. Ю. Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования. М.: Изд-во «ООО Эликс+», 2003. 300 с.
2. Ткаченко Т. Я. Инструментальная среда системотехнического обслуживания сложных объектов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2002. 203 с.
3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика. М.: Наука, 1986. 284 с.
4. Дудко В. А. Динамическое моделирование ситуационного управления промышленным предприятием: автореферат дисс. ... канд. экон. н. Тамбов, 2004.
5. Лисиенко В. Г., Бабенко А. Г., Дюгай П. А. и др. Моделирование и разработка системы диагностики технологического процесса для управления качеством продукции (на примере процесса непрерывного литья заготовки): учеб. пособие. Новоуральск: ФГОУ ВПО Новоуральский государственный технологический институт, 2008. 132 с.
6. Симанков В. С., Шопин А. В. Ситуационное управление сложным объектом в условиях нечеткой исходной информации // Труды ФОРА. 2004. № 9. С. 116–120.
7. Организация размещения данных и доступа к данным. Хеширование и кластеризация. Особенности СУБД Oracle. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://rema44.ru/resurs/study/dbmat/db_hash_cluster.ppt.

А. К. Бызова, С. Л. Гольдштейн

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ЧИСЛА СРЕДСТВАМИ DATA MINING

Рассматривается проблема достижения оптимальной точности классификации вербальных текстов средствами Data Mining. Эмпирически оценена точность классификации в зависимости от числа обучающих текстов и количества классов. Также автором рассматривается зависимость точности классификации от представления исходных данных для обучения классификатора: в виде научных статей и в виде словарей терминов. В работе приведены результаты обучения и тестирования классификатора при различных факторах, описанных выше. В качестве средства Data Mining выбрана программа Weka.

Ключевые слова: *дерево принятий решений, интеллектуальный анализ данных, классификация текстов, компьютерная лингвистика, обучение классификатора, Weka.*

The problem of optimal classification accuracy of verbal texts by means of Data Mining. Empirically evaluated the classification accuracy depending on the number of training texts and the number of classes. The author examines the dependence of the classification accuracy of the representation of the original data for training the classifier: in the form of scientific articles and a glossary of terms. The results of training and testing of the classifier for various factors described above. As a means of Data Mining program is selected Weka.

Keywords: *decision tree, data mining, text classification, computational linguistics, supervised learning, Weka.*

В виду непрерывного роста объема информации возникает проблема ее структуризации в целях быстрого нахождения и извлечения из этого множества необходимых сведений. Использование инструментов Data Mining позволяет находить неочевидные закономерности — знания. Исходя из совокупности наиболее часто появляющихся слов в тексте можно предсказать, к какой предметной области относится данный текст. При этом полнота и точность — характеристики, по которым можно определить качество такой классификации. Известно, что полнота и точность классификации текстов — меры, противоречащие друг другу, т. е. 100 %-ную полноту легко достичь, поместив все тексты в i -й класс, при этом точность будет мала. И, наоборот, 100 %-ную точность легко достичь, строго отбрасывая тексты, помещая в i -й класс малое число текстов — полнота будет мала [1]. Так, например, достаточными для классификации по индивидуальному стилю будут тексты объемом в 800 предложений или 9 000 слов (минимум 6 000) [2]. Также ранее нами было установлено, что с ростом количества классов возникает более высокая степень неопределенности, а значит, для достижения точности классификации технических текстов более 50 % требуется большее число текстов для построения модели [3].

Универсальной зависимости точности классификации текстов от числа текстов и количества классов нет. Поэтому в данной статье поставлена и решена задача эмпирическим путем установить зависимость точности классификации текстов от их количества и числа классов.

Обоснование выбора программного пакета и текстов

В качестве Data Mining-средства выбран программный пакет Weka [4]. Для проведения эксперимента тексты для обучения были взяты из базы данных научных статей [5], они представляют собой англоязычные тексты объемом в одну страницу. Также нами заранее был подготовлен словарь англоязычных существительных по 1 000 терминов для каждого класса.

Под мерой точности будем понимать отношение количества правильно классифицированных текстов к числу неправильно классифицированных.

Обучение

Процесс интеллектуального анализа текстов реализован нами поэтапно:

1. Предварительная обработка: отобранные тексты импортируем в формат *.arff (Attribute-Relation File Format).

2. Обучение, начиная с исходных данных, но с одним текстом из технического класса, затем с двумя и т. д. до десяти (в качестве метода выбран алгоритм дерева решений).

3. Проверка: испытание модели на тестовой выборке.

На первом этапе произвели ввод текстов для обучения по классам. Количество классов заранее известно. Далее происходит работа со словами. Пусть $C = \{c_i\}$ — множество классов, $T = \{t_j\}$ — обучающее множество, которое содержит термины, каждый из которых характеризуется атрибутами, при этом один из них указывает на принадлежность к классу. Логiku построения дерева можно свести к следующим продукционным правилам:

if T содержит хотя бы один термин, относящихся к классу C_i

then следующий узел для T — это класс C_i ;

if T не содержит ни одного из терминов

then следующий узел для T — это класс, ассоциированный с родителем;

if T содержит термины, относящиеся к разным классам

then T разбиваем на подмножества.

Для разбиения выбирается один из признаков, имеющий два и более различных друг от друга значений O_1, O_2, \dots, O_n . Требуется: распознать принадлежность каждого из 10 (15) текстов к классу технических; провести серию из 4-х экспериментов в вариациях для 2-х, 4-х, 8-ми и 16-ти классов. Множество T разбивается на подмножества T_1, T_2, \dots, T_n , где каждое подмножество T_i содержит все примеры, имеющие значение O_i для выбранного признака. Это процедура рекурсивно продолжается до тех пор, пока конечное множество не будет состоять из примеров, относящихся к одному и тому же классу. В итоге получаем дерево.

Распознавание

Теперь остается проверить адекватность дерева решений на тестовых текстах.

Эксперимент 1

Имеется два класса текстов (химические и технические). Исходные данные для построения модели отобраны в виде 20 (затем 30) научных англоязычных текстов объемом около 3 000 слов (*.txt), 10 (15) для технических текстов и 10 (15) для химических текстов. В качестве тестовых данных — 10 (15) технических текстов такого же объема на том же языке (*.txt). Требуется: распознать принадлежность каждого из 10 (15) текстов к классу технических наук; провести серию из 4-х экспериментов в вариациях для 2-х, 4-х, 8-ми и 16-ти классов.

Для 1-го варианта построили 10 моделей. На каждой испытали тестовую выборку. Результаты тестирования представлены на рис. 1а.

Для 2-го варианта увеличили количество классов вдвое, добавив два класса: экономические, медицинские. Исходные данные при построении модели были отобраны в виде 40 научных текстов для каждого из классов. Результаты приведены на рис. 1б.

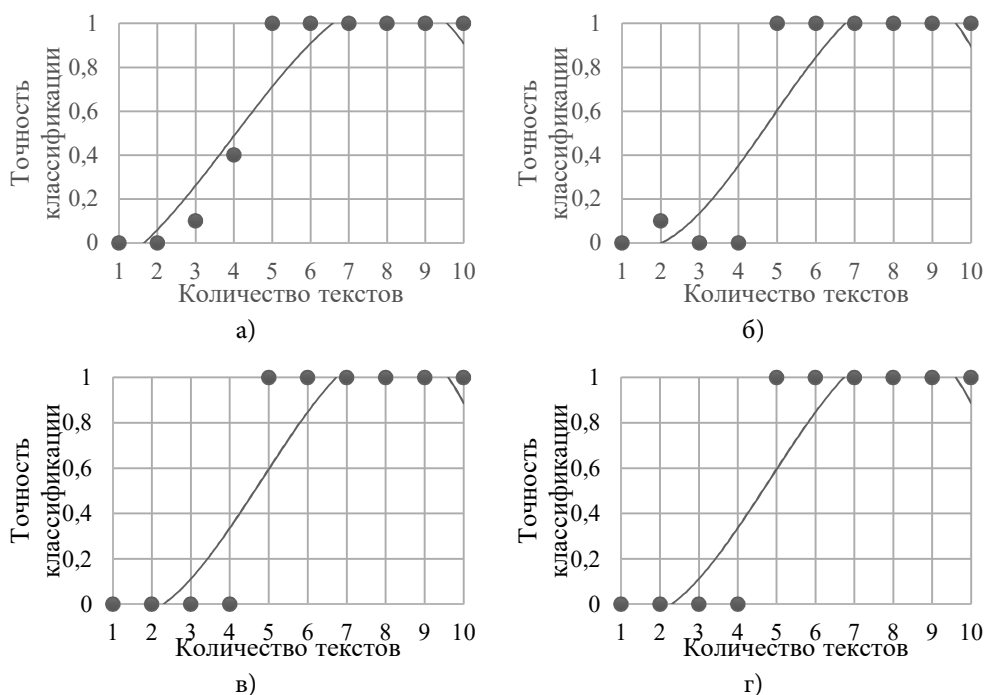


Рис. 1. Зависимость точности классификации от числа текстов для 2-х (а), 4-х (б), 8-ми (в) и 16-ти (г) классов при 10-ти текстах в каждом из классов

Для 3-го варианта увеличили количество классов вдвое, добавив 4 класса: юридические, физико-математические, искусствоведческие, психологические. Исходные данные были отобраны в виде 80 научных текстов для каждого из классов.

Результаты приведены на рис. 1в. Для 4-го варианта увеличили количество классов еще раз вдвое, добавив 8 классов: биологические, исторические, науки о Земле, педагогические, политологические, сельскохозяйственные, социологические, филологические. Исходные данные были отобраны в виде 160 научных текстов для каждого из классов. Результаты приведены на рис. 1г.

Аналогично, для 15 текстов для 1-го варианта получили 15 моделей. На каждой испытали тестовую выборку. Результаты тестирования представлены на рис. 2а.

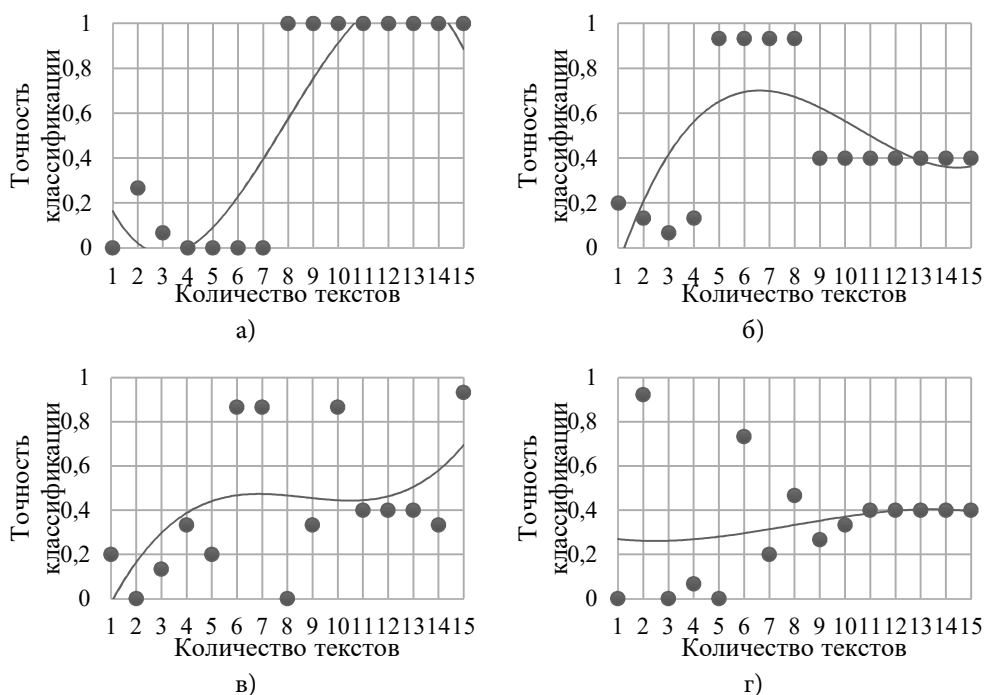


Рис. 2. Зависимость точности классификации от числа текстов для 2-х (а), 4-х (б), 8-ми (в) и 16-ти (г) классов при 15-ти текстах в каждом из классов

Для 2-го варианта исходные данные при построении модели отобраны в виде 60 научных текстов для каждого из классов (рис. 2б). Для 3-го варианта — в виде 120 научных текстов для каждого из классов (рис. 2в). Для 4-го варианта — в виде 240 научных текстов для каждого из классов (рис. 2г).

Поскольку классов стало больше, возникает более высокая степень неопределенности. При этом существуют тексты, содержание которых может комбинировать в себе несколько научных направлений. Это также приводит к неопределенности.

Сильный разброс точек можно объяснить тем, что при построении моделей мы отбрасывали те тексты, которые содержали в себе большую часть ключевых терминов. Таким образом, для достижения оптимальной точности классификации следует обращать внимание на выборку исходных данных. Возникает потребность в создании универсальной онтологии научных терминов.

Эксперимент 2

Имеется два класса текстов (химические и технические). Исходные данные для построения модели отобраны в виде двух словарей для каждого класса. Требуется: распознать принадлежность научной статьи к классу технических наук; провести серию из 3-х экспериментов в вариациях для 2-х, 4-х и 6-ти классов. Результаты приведены в табл. 1–4. В каждом словаре — 1 000 терминов, дробление словаря происходит на равные части, «+» — текст распознан, «–» — текст не распознан.

Таблица 1

Результаты распознавания для 2 классов

Кол-во текстов для обучения	Результаты распознавания по классам*	
	с (химия)	е (экономика)
e1 c1	–	+
e2 c2	–	+
e5 c5	–	+
e10 c10	+	+

Таблица 2

Результаты распознавания для 3 классов

Кол-во текстов для обучения	Результаты распознавания по классам*		
	с	е	l
e1 c1 l1	+	–(с)	–(с)
e2 c2 l2	–(l)	–(l)	+
e5 c5 l5	–(l)	–(l)	–(е)
e10 c10 l10	–(l)	+	+

Таблица 3

Результаты распознавания для 4 классов

Кол-во текстов для обучения	Результаты распознавания по классам			
	с	е	l	w
e1 c1 l1 w1	–(е)	+	–(е)	–(е)
e2 c2 l2 w2	–(l)	–(l)	+	–(l)
e5 c5 l5 w5	–(l)	–(l)	–(е)	–(l)
e10 c10 l10 w10	–(l)	+	+	+

Таблица 4

Результаты распознавания для 5 классов

Кол-во текстов для обучения	Результаты распознавания по классам				
	с	е	l	w	m
e1 c1 l1 w1 m1	–(w)	–(w)	–(w)	+	–(w)
e2 c2 l2 w2 m2	–(l)	–(l)	+	–(l)	–(l)
e5 c5 l5 w5 m5	–(w)	+	+	+	–(w)
e10 c10 l10 w10 m10	–(m)	+	+	+	–(l)

* с — химия, е — экономика, l — лингвистика, w — юриспруденция, m — машиностроение

Видно, что при увеличении количества классов необходимо большее число текстов. За счет тщательной подготовки материала можно снизить количество текстов для обучения.

Результаты и выводы:

- поставлена задача эмпирическим путем установить зависимость точности классификации текстов от их количества и числа классов,
- в качестве Data Mining средства выбрана программа Weka,
- проведены два эксперимента,
- получена зависимость точности классификации текстов от их числа и от количества классов,
- рассмотрены два варианта выбора исходных данных: в виде научных статей и в виде словарей терминов.

Программный пакет Weka пригоден для классификации англоязычных текстов. Однако следует уделять большее внимание на отбору исходного материала для обучения. Если в качестве исходных данных использовать словарь терминов, то сам процесс классификации упрощается.

Литература

1. *Большакова Е. И., Клышинский Э. С., Ландэ Д. В. и др.* Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие. М.: МИЭМ, 2011. 272 с.
2. *Шевелев О. Г., Петраков А. В.* Классификация текстов с помощью деревьев решений и сетей прямого распространения // Вестник Том. гос. ун-та. 2006. № 290. С. 300–307.
3. *Бызова А. К. Гольдштейн С. Л.* Оценка точности классификации текстов в зависимости от их числа средствами Data Mining // Тезисы докладов II Междунар. молодежн. научн. конф.: Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2015 (20–24 апреля 2015 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 117–119.
4. Computer Science Department, University of Waikato. URL: <http://www.cs.waikato.ac.nz>
5. Архив научных статей [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gramota.net/materials.html> (дата обращения: 24.03.2015).

С. Л. Гольдштейн, Е. М. Грицюк, А. Н. Аверьянова, М. Хушанг

О ВЛОЖЕНИИ СЛУЖЕБНЫХ ПРОСТРАНСТВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО ЭПИДЕМИОЛОГА

Представлена модель вложения служебных информационных пространств на примере деятельности клинического эпидемиолога, рассмотрены варианты фазового портрета вложенного пространства «цикл» и «фокус», предложена иерархическая интерпретация коэффициентов модели.

Ключевые слова: *информационное пространство, служебное пространство, фазовый портрет, эпидблагополучие, дифференциальное уравнение поведения.*

Model attachments service information spaces represented on the example of clinical epidemiology; variants of the phase portrait embedded space "cycle" and "focus" studied; hierarchical interpretation of model coefficients is proposed.

Keywords: *information space, subsidiary space, phase portrait, epidemiological welfare, model of information space.*

Деятельность клинического эпидемиолога предполагает учет большого количества факторов из разномасштабных кластеров. Их мониторинг детально ненормирован. При этом эпидемиологическое благополучие медицинского учреждения (МУ) и его подразделений имеет, как правило, циклическую динамику ситуаций, т. е. процесс содержит фазы ухудшения, улучшения и стабильности. Для управления ими требуется не только система критериальных оценок эпидблагополучия, например, иерархическая [1], что понятно, но и дополнительные ресурсы.

В данной статье поставлена и решена задача поиска таких ресурсов. Рабочая гипотеза в качестве таковых предполагала пространственно-временные ресурсы, что далеко не очевидно.

Подход к вложению координат служебного пространства

Реальное (физическое) пространство МУ, его подразделений, помещений и рабочих мест привычным образом воспринимается как длина-ширина-высота, образующие реальное трехмерное пространство. Для оценки эпидблагополучия используются компилятивные факторы, которые специалист соединяет в единую систему, создавая когнитивное пространство проблемной области. Его виртуальное отражение — это трехмерная система координат Евклида-Декарта, знакомая всем со школы. Это представление можно использовать и для служебного информационного пространства, где осям координат назначен смысл, скажем, состояний каких-либо взаимосвязанных объектов. Так, например, это могут быть состояния эпидблагополучия

корпуса, подразделения и рабочего места, влияющие друг на друга во времени. Математически этому эквивалентна запись:

$$\dot{x}_1 = H(x_1, x_2, x_3), \quad \dot{x}_2 = P(x_1, x_2, x_3), \quad \dot{x}_3 = S(x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

где x_i — состояние i -го объекта, \dot{x}_i — первая производная от времени, т. е. изменение состояния, H, P, S — некоторые функции.

Если функции H, P, S линейные, то справедливо:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1 \times x_1 + b_1 \times x_2 + c_1 \times x_3, \\ \dot{x}_2 = a_2 \times x_1 + b_2 \times x_2 + c_2 \times x_3, \\ \dot{x}_3 = a_3 \times x_1 + b_3 \times x_2 + c_3 \times x_3, \end{cases} \quad (2)$$

где a_i, b_i, c_i — коэффициенты.

Зная значения этих коэффициентов и начальные условия можно получить решение системы уравнений (2) в виде различных конфигураций: узлов, фокусов, циклов, седел и т. д., называемых фазовыми портретами.

При таком подходе информация об объекте «спрятана» в коэффициентах a_i, b_i, c_i , имеющих смысл, прежде всего, обратных постоянных времени, например, вида $R_i \times C_i$, где R_i — сопротивление, C_i — емкость. Чтобы отразить необходимую информацию об объекте, представленную теперь в виде R_i, C_i — цепочек, предлагается переход к другой системе координат, вложенной в исходную четырехмерную (x_1, x_2, x_3, t) , где t — время.

В качестве одного из вариантов вложенного пространства нами рассмотрены фазовые портреты типа «цикл» и «фокус».

Фазовый портрет типа «цикл» как вариант вложенного пространства

На рис. 1 показано первое такое вложение.

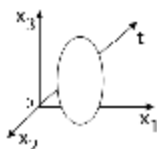


Рис. 1. Геометрический образ вложения пространства типа «цикл» в прямоугольное

С помощью ППП «Matlab» и текстового редактора Microsoft Word выполнен вычислительный эксперимент (табл. 1), графически представленный на рис. 2 для системы из двух уравнений вида (2):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1 \times x_1 + b_1 \times x_2 + \Delta x_1 \\ \dot{x}_2 = a_2 \times x_1 + b_2 \times x_2 + \Delta x_2 \end{cases}$$

где $\Delta x_1, \Delta x_2$ — сдвиг решения относительно начала координат.

В табл. 1 также приведены количество циклов изменения параметров системы и начальные условия каждого цикла.

Таблица 1

Условия и решения											
Количество циклов		1					5				
Значения коэффициентов	a_1	-10	-10	-10	-0,01	-0,01	0,5	0,5	-0,5	-0,5	-0,5
	a_2	-6	-6	6	-0,90	2	0,1	0,1	0,1	10	0,1
	b_1	20	20	-20	2	-0,09	-2000	-500	-205	-500	-2000
	b_2	10	10	10	0,01	0,01	-0,5	-0,5	0,5	0,5	0,5
Δx_1		0	-3	-3	-7	-6	-3				
Δx_2		0	-3	-3	-7	-6	-3				
Начальные условия	x_1	1	4	4	4	5	4				
	x_2	0	3	3	3	0	3				
	t	0					0	0,054	0,151	0,34	0,42
Фрагменты на рис. 2		a	b	c	d	e	f				

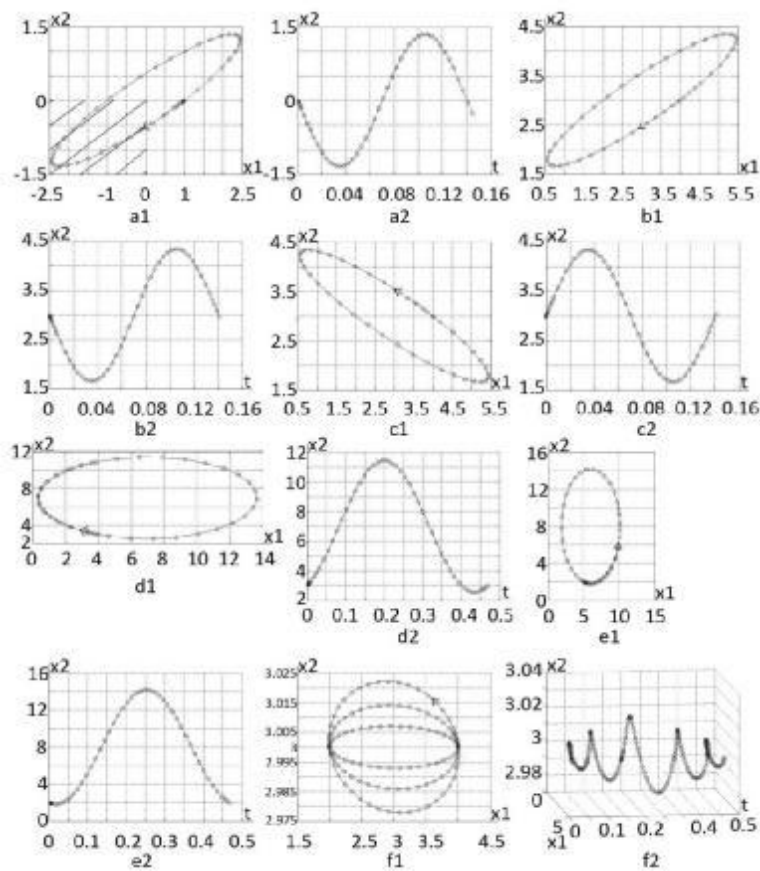


Рис. 2. Графические образы (а—f) решений типа «цикл» для двух переменных (x_1, x_2) во времени (t)

Видно следующее: во-первых, циклические процессы моделируются; во-вторых, возможно представление фазового портрета только в положительных квадрантах (рис. 2, б—ф); в-третьих, реализуемы любые повороты цикла (рис. 2, б—е); в-четвертых, воспроизводимы эстафетные повторения цикла (рис. 2, ф) которые при малых временах между циклами могут имитировать «заметание» траекторией псевдообъемной фигуры типа эллипсоида, как на рис. 1.

Графики f_1 и f_2 на рис. 2 строили с помощью отдельной встроенной функции «hold on» ППП «Matlab», которая отображает результат нескольких графиков в одной, единой, сетке.

Таким образом, возможно перенести детальное представление R_i и C_i из прямоугольного пространства Евклида-Декарта в новое — эллиптическое, обладающее большими информационными возможностями для последующего представления фактических, плановых и угрожаемых значений факторов, характеризующих емкость (C) деятельности клинического эпидемиолога в виде:

$$C = C_1 \times \alpha_1 + C_2 \times \alpha_2, \quad (3)$$

где C_1 — охват задач эпидемиолога [2], C_2 — оценка качества их решений; α_1, α_2 — веса; $\sum \alpha_i = 1$; а также — сопротивление решению этих задач

$$R = R_1 \times \beta_1 + R_2 \times \beta_2, \quad (4)$$

где R_1 — сопротивление, связанное с задержками исполнения, R_2 — сопротивление исполнению потока управленческих решений; β_1, β_2 — веса; $\sum \beta_i = 1$.

Наполнение эллиптического пространства, «заметаемого» спиралью вида

$$x_1(L) = k_1 L, x_2(L) = k_2 r_1 \cos(wL), x_3(L) = k_3 r_2 \sin(wL), \quad (5)$$

где L — длина эллипсоида; r_1, r_2 — его радиусы, $k_1(L) \div k_3(L)$ — настроечные коэффициенты, w — плотность наложения спирали на эллипсоид; в первом приближении можно представить как

$$C_1 = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{n_3}{n_4}, \quad (6)$$

где n_1, n_3 — фактическое количество строк и столбцов матрицы деятельности [3] соответственно; n_2, n_4 — их полное количество,

$$C_2 = \sum_i \left(\frac{e^{TK}}{e^{TP}} \times \gamma \right)_i, \quad (7)$$

где e^{TK}, e^{TP} — текущее и требуемое значения оценок качества решения задач эпидемиологом, γ — вес, $\sum \gamma = 1$;

$$R_1 = \Delta \tau / \tau, \quad (8)$$

где $\Delta \tau$ — временные задержки в решении задач, τ — норматив времени;

$$R_2 = \Delta p / p \quad (9)$$

где Δp — доля исполнения решений, p — поток решений.

При этом спираль (5) на рис. 3 может служить средством мониторинга, хронометража и визуализации деятельности клинического эпидемиолога. Причем сагиттальные сечения эллипсоида дают возможность отразить плановые показатели деятельности по обеспечению эпидблагополучия, шаблон фактических значений и угрозы.

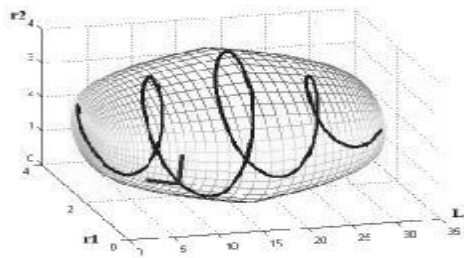


Рис. 3. Вид (эллипсоид) спирали мониторинга деятельности эпидемиолога

Фазовый портрет типа «фокус» как вариант вложенного пространства

В качестве второго варианта вложенного пространства нами рассмотрен фазовый портрет типа «фокус». На рис. 4 показано такое вложение.

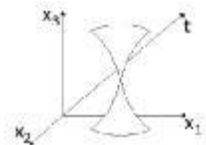


Рис. 4. Геометрический образ вложения пространства типа «фокус» в прямоугольное

Как и в первом варианте выполнен вычислительный эксперимент (табл. 2), графически представленный на рис. 5 для системы из двух уравнений вида (2) с помощью ППП «Matlab» и текстового редактора Microsoft Word.

Таблица 2

Условия и решения								
Количество циклов		1					2	
Значения коэффициентов	a_1	30	30	30	2	2	-30	30
	a_2	-56	-56	56	10	-60	-60	40
	b_1	60	60	-60	-60	10	56	-40
	b_2	-20	-20	-20	0	0	20	-20
Δx_1		0	-90	60	176	-34	-52	20
Δx_2		0	76	-72	-20	120	80	-40
н. у.	x_1	1	0,96	1,96	2,05	2,05	1,4	
	x_2	0	1	1,76	2,8	2,9	1,5	
	t	0	0	0	0	0	0,5	
Фрагменты на рис. 5		a	b	c	d	e	f	

Показано следующее: фокусные процессы моделируются; реализуемы любые повороты фокуса (рис. 5, b—e); возможно представление фазового портрета только в положительных квадрантах (рис. 5, b—f); воспроизводимы эстафетные изменения коэффициентов системы (рис. 5, f).

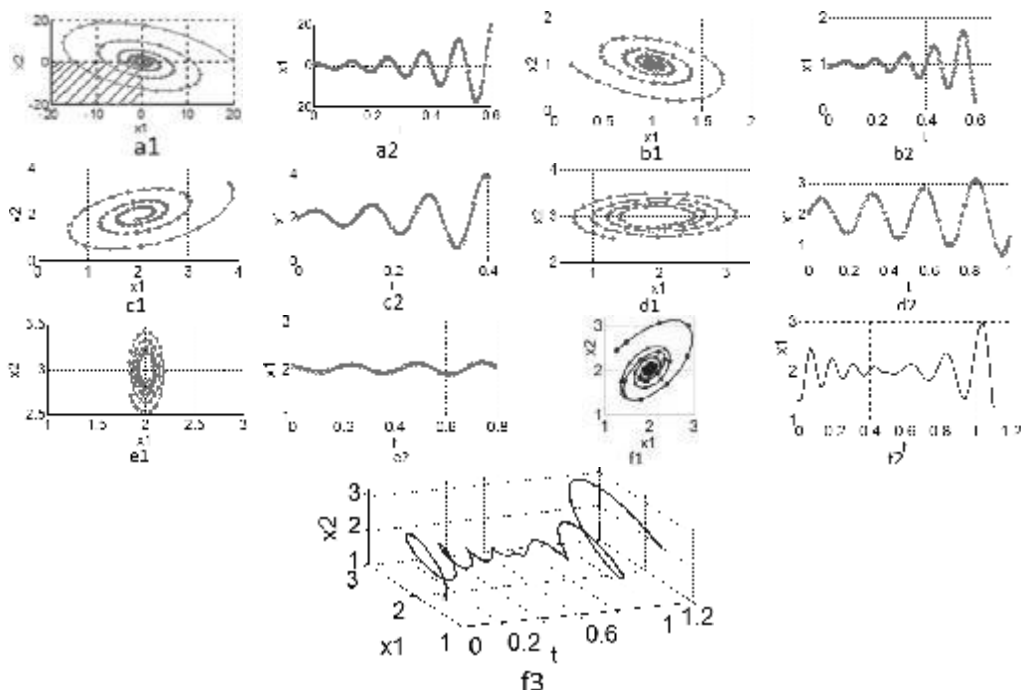


Рис. 5. Графические образы (a—f) решений типа «фокус» для двух переменных (x_1 , x_2) во времени (t)

При этом спираль (5) также может служить средством мониторинга, хронометража и визуализации деятельности клинического эпидемиолога (рис. 6). Причем сагиттальные сечения полученного гиперboloида также дают возможность отразить плановые показатели деятельности по обеспечению эпидблагополучия, шаблон фактических значений и угрозы.

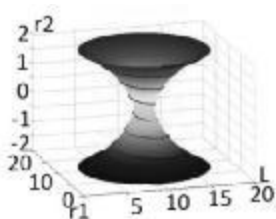


Рис. 6. Вид (однополостной гиперboloид) спирали мониторинга деятельности эпидемиолога

Адаптация модели к деятельности клинического эпидемиолога

Информационное пространство на основе стандартов медицинской помощи, нормативов, данных из литературных источников, базовых знаний, умений и навыков, а также накопленного опыта работы, позволяет позиционировать и исследовать не только здоровье пациента во времени, но и состояние подразделений медицинского учреждения, оценить их влияние на результаты обследования и лечения, дать соответствующие рекомендации как пациенту, так и медицинскому персоналу, спрогнозировать дальнейшее развитие ситуации и т. п. [1, 2].

Информационное пространство естественным образом организуется в линейное пространство Евклида-Декарта, например следующим образом:

- для пациента проводится оценка качества диагностики, лечения, реабилитации как одним специалистом, так и коллективом профильных специалистов;
- для эпидблагополучия оценивается корпус, подразделение, рабочее место;
- для управленческой деятельности осями оценки являются задачи, управление (ресурсы), результат.

Более глубокий анализ показывает необходимость изучения нелинейных координат информационных пространств (эллипсоидных, гиперboloидных и даже тороидальных).

Представление и автоматизация изложенного подхода в том или ином информационном пространстве позволяет повысить оперативность сбора информации, оценки ситуации, выработки рекомендаций и прогнозирования, а также даст своевременную подсказку для принятия решений в сложной ситуации, когда имеется ухудшение эпидемиологического благополучия и пациент нуждается в неотложном лечении.

Модернизация информационного пространства эпидемиолога должна учитывать не только сложную структуру его деятельности, часто связанную с работой других отделов (кадрово-правового, экономического, инженерного и др.) и подразделений (операционного блока, стационара, лабораторий, поликлиники), но и необходимость постоянного контроля организации и выполнения мероприятий инфекционной безопасности.

На рис. 7 показан вариант структуры коэффициента дифференциальной системы уравнений (2).

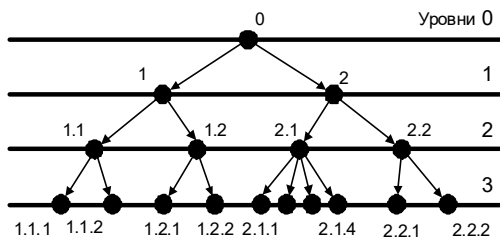


Рис. 7. Иерархия понятий к термину «обратная постоянная времени» в дифференциальном уравнении поведения:

0 — обратная постоянная времени, 1 — сопротивление, 2 — емкость, 1.1 — сопротивление, связанное с задержками исполнения, 1.2 — сопротивление потоку управленческих решений, 2.1 — охват задач, 2.2 — оценка качества их решения, 1.1.1 — временные задержки, 1.1.2 — нормативные сроки, 1.2.1 — управление, 1.2.2 — поток решений, 2.1.1, 2.1.2 — фактические и требуемые количества строк и столбцов в матрице деятельности, 2.1.3, 2.1.4 — их полное количество, 2.2.1, 2.2.2 — текущее и требуемое значения оценки качества решения задачи

Видно, что каждая постоянная времени детализируема, по крайней мере, до десяти составляющих, что требует своих вложенных пространств.

Результаты и выводы

1. Выдвинута идея о целесообразности вложения служебных пространств для адекватного представления всех необходимых разноплановых характеристик деятельности специалиста.

2. Базовое служебное пространство предложено связать с состояниями n -мерного объекта во времени, т. е. системой дифференциальных уравнений.

3. Из набора фазовых портретов выбраны решения вида «цикл» и «фокус» как ограничивающие виртуальное пространство специалиста.

4. Возможность вложения пространств в виде эллипсоида и гиперболоида показана средствами вычислительного эксперимента.

5. Коэффициенты в уравнениях состояния предложено интерпретировать как обратные постоянные времени с декомпозицией на емкости служебной деятельности и сопротивления управленческим решениям.

6. Проведена адаптация предложенной модели и деятельности клинического эпидемиолога.

7. Модель рекомендована в качестве средства мониторинга за качеством служебной деятельности.

8. Высказана гипотеза о возможности дальнейшего вложения виртуальных служебных пространств, например, в виде тороидальных структур.

Литература

1. Грицюк Е. М. Развитие механизма компьютеризированной деятельности эпидемиолога в условиях реинжиниринга медицинского научно-практического центра. Дисс. канд. мед. наук. Екатеринбург, 2013. 34 с.
2. Грицюк Е. М., Гольдштейн С. Л. О задачнике по развитию системы противоэпидемиологической поддержки медицинской организации // Инфекция и иммунитет. Т. 4. № 1. 2014. С. 61.
3. Гольдштейн С. Л. Системная интеграция бизнеса, интеллекта, компьютера. Екатеринбург: ИД Пирогов, 2006. 492 с.

Е. М. Грицюк, С. Л. Гольдштейн, О. А. Семенова

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУР МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ

Представлены геометрические и математические описания устойчивости структур медицинского учреждения в зависимости от эпидемиологического и информационного благополучия, с использованием понятий: конструкция типа пирамида, центр массы и его координаты, действующие силы, условия устойчивости. Приведены примеры оценки устойчивости для медицинского учреждения. Предложено использовать данный подход для предупреждения потери устойчивости, а также разработки алгоритмов и программного обеспечения с целью проведения мониторинга, расчетов и компьютерной визуализации, направленных на решение подобных задач.

Ключевые слова: медицинское учреждение, эпидемиологическое благополучие, информационное благополучие, устойчивость, моделирование.

Shows the geometrical and mathematical descriptions of stability of a structures of the medical institutions, depending on the epidemiological and informatical well-beings, using the concepts: construction of the "pyramid", center of mass and its coordinates, an acting forces, conditions stability. Examples of sustainability assessment for the medical establishment are shown. It is proposed to use this approach in order to prevent loss of stability and also to develop algorithms and software for the monitoring, calculations and computer visualization, aimed to solve such problems.

Keywords: medical institution, epidemiological well-being, informatical well-being, stability, modeling.

В литературе проблема устойчивости медицинского учреждения (далее МУ) представлена разнопланово: при парировании чрезвычайных ситуаций [1, 2], с финансовой точки зрения [3], с позиции управления персоналом [4], при обеспечении эпидемиологического благополучия [5], с учетом острой потребности в информационной поддержке [6] и т. п. Однако все эти представления ограничиваются вербальным или вербально-эмпирическим подходом [7]. В данной статье поставлена и решена задача создания графических моделей и формализованного описания статической устойчивости структур МУ на базе эпидемиологического и информационного благополучия.

Графические модели

Представим структуру функционала МУ в виде графического образа пирамиды (рис. 1), как наиболее устойчивой конструкции, слоями которой служат функции (i). Чем сложнее деятельность, тем больше уровней и меньше устойчивость, а поря-

док заполнения слоев обусловлен правилом: без нижнего слоя следующий не действует.



Рис. 1. Структура функционала МУ в виде пирамиды

Функции (например, базовая) обеспечивают определенное качество состояния слоя, назовем его благополучием (эпидемиологическим, информационным или др.), которое играет роль фундамента пирамиды для осуществления всей деятельности и может иметь вид прямоугольника (рис. 2), многоугольника или окружности.



Рис. 2. Схема благополучия, обеспечиваемого базовой функцией ($i=1$) основания пирамиды функционала МУ при максимально возможных значениях качества составляющих ($j=1...4$)

При этом необходимо учитывать динамические внутренние помехи (F_1) как силы неблагоприятных факторов, направленные на уменьшение благополучия (площади основания S_1). В плане эпидемиологического благополучия это могут быть: нарушение правил инфекционной безопасности, неудовлетворительное санитарное состояние помещений и систем обеспечения МУ, дефицит оборудования и расходных материалов для обеспечения асептики и антисептики, а также многие другие проблемы. Неблагоприятные изменения характеристик полноты обеспечения эпидемиологического благополучия (S_1'') снижают устойчивость конструкции, что представлено на рис. 3.

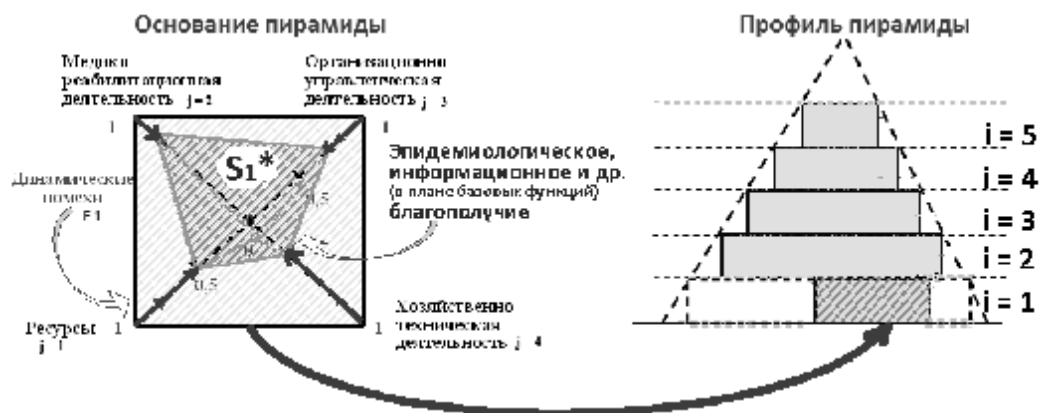


Рис. 3. Связь уменьшения профиля эпидемиологического (информационного и др.) благополучия

Эпидемиологическое благополучие (ЭБ) опишем кортежем:

$$\text{ЭБ} = \left\langle \sum_{j=1}^4, S, h, d; R \right\rangle, \quad (1)$$

где Σ — сумма предметно-содержательных характеристик, j — число углов основания (ресурсы и службы обеспечения деятельности: медицинская, управленческая, техническая), S — площадь основания (полнота обеспечения состояния благополучия), h — его высота (величина вклада в общее качество деятельности МУ), d — плотность материала основания (вес или значимость), R — матрица связи.

Величина S дает прогноз о вероятности «опрокидывания» пирамиды, а d — о разрушении слоя от чрезмерной нагрузки, т. е. тоже о нарушении устойчивости [2]. Величина d — вес или значимость каждого функционального слоя, определяется лицом, принимающим решения в баллах от 0 до 1. Если основание имеет вид круга, тогда справедливо:

$$S_i = \pi r_i^2, \quad (2)$$

где r — радиус основания (полноты обеспечения состояния благополучия).

Основную характеристику устойчивости — положение центра масс (Y_0) [8], определим с помощью радиуса (r_0).

$$Y_0 = f(r_0), \quad (3)$$

где r_0 — радиус основания (полноты обеспечения состояния благополучия) того функционального слоя, на уровне которого располагается центр масс.

Если горизонтальная проекция Y_0 выходит за границы площади основания S , конструкция теряет равновесие, что происходит при уменьшении s или при слишком высоком расположении центра масс (рис. 4).

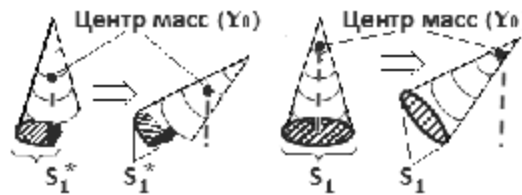


Рис. 4. Влияние Y_0 на устойчивость

При этом положение r_0 определяется следующим образом:

$$r_0 = \sum_{i=1}^m (r \cdot m)_i / \sum_{i=1}^m m_i, \tag{4}$$

где m — влияние каждого слоя (m_1 — эпидемиологического благополучия) на общую устойчивость конструкции и вычисляется произведением:

$$m_i = (V \cdot d)_i, \tag{5}$$

где V — объем пространства эпидемиологической деятельности, которое зависит от полноты обеспечения состояния благополучия (S) и величины вклада в общее качество деятельности МУ (h) следующим образом:

$$V_i = (S \cdot h)_i. \tag{6}$$

Аналогично представимо и информационное благополучие, зависящее от качества защиты информации, видов обеспечения автоматизированных систем, ресурсов и т. д.

Свойства основания определяют устойчивость конструкции, в первую очередь за счет докритичных значений S и d , при которых имеется возможность восстановления устойчивости. На рис. 5 показаны варианты устойчивости абстрактной n -слойной структуры типа пирамида в координатах «факторы неустойчивости» (ФНУ) — по занимаемому месту в рейтинге: учреждение-лидер / отстающее учреждение; МР — вклад слоев в общую устойчивость конструкции; ВК — вклад слоев в качество деятельности».

Первое представление о факторах устойчивости дает табл. 1, в которой приведены соотношения сил и положений, определяющие то или иное состояние устойчивости на рис. 5.

Таблица 1

Устойчивость структуры в зависимости от соотношения сил и положений

Состояние	Соотношения сил и положений*		
	давление / прочность	сила трения / внешняя сила	Y_0 / S_1
устойчивое	$p < g$	$F_3 / -$	$Y_0 \in S_1$
наклон: с упором или без	$p < g$	$F_3 / -$	$Y_0 > S_1$
падение / опрокидывание	$p < g$	$F_3 > F_2$	$Y_0 >> S_1$
скольжение / сдвиг	$p \geq g$	$F_3 \leq F_2$	$Y_0 \in S_1$

* p — вес конструкции, g — прочность ее слоев, F_3 — сила трения, F_2 — внешняя опрокидывающая сила, Y_0 — центр массы, S_1 — площадь основания.

На рис. 5 вариант а) обеспечен достаточными значениями прочности и площади основания, вариант б) обусловлен уменьшением площади основания, вариант г) возможен при уменьшении силы трения (например, за счет разрушения основания до «песка», по которому скользит (или катится) конструкция).

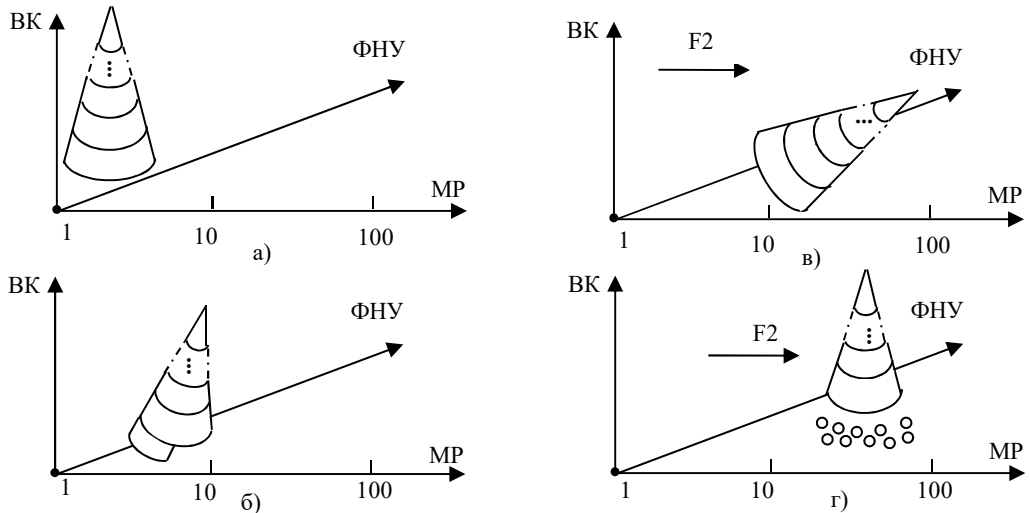


Рис. 5. Графический образ вариантов устойчивости n -слойной структуры типа «пирамида»:

а) устойчивость; б) неустойчивость типа «наклон» с упором или без; в) неустойчивость типа «падение/опрокидывание», г) неустойчивость типа «скольжение/сдвиг»)

Второе представление о факторах устойчивости дает система действующих сил в вариантах, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Пример вариантов устойчивости и их факторов

Вариант на рис. 5	Фактор неустойчивости (ФНУ)	Действующие силы*				
		p	N	F_1	F_2	F_3
а)	Нет	+	+	—	—	+
б)	Уменьшение прочности и объема основания	+	+	+	—	+
в)	$F_2 \leq F_3$	+	+	+	+	+
г)	$F_2 > F_3$	+	+	+	+	+

* p — вес конструкции, N — реакция опоры, F_1 — динамические внутренние помехи, F_2 — динамические внешние помехи — опрокидывающая сила, F_3 — сила трения

Здесь уместны следующие замечания. Опора должна выдерживать вес конструкции. Помехами или угрозами основанию могут быть силы внутренних динамических помех (F_1), как показано на рис. 3. Опрокидывающая сила внешних динамических помех (F_2) может быть представлена, например, ухудшением эпидемиоло-

гической ситуации в регионе, стране, мире (эпидемия высокопатогенного гриппа А (H_1N_1)), влиянием реформ здравоохранения и общеэкономического кризиса. А сила трения (F_3) — сцеплением конструкции со средой существования, а также ее элементов между собой (за счет развития сотрудничества между подразделениями и внешними организациями).

Третье представление об устойчивости может быть описано следующими производственными правилами:

$$\text{if } x_R \in S_{r1} \text{ and } Y_R \leq Y'_R \text{ and } |p| = |N| \neq 0 \text{ then } C::=a) \text{ else} \quad (7.1)$$

$$\text{if } S_{r1} \downarrow \text{ and } x_R \leq r1 \text{ and } F_1 \leq F'_1 \text{ then } C::=b) \text{ else} \quad (7.2)$$

$$\text{if } F_1 = 0 \text{ and } F_2 \leq F_3 \text{ then } C::=v) \text{ else} \quad (7.3)$$

$$\text{if } F_1 = 0 \text{ and } F_2 > F_3 \text{ then } C::=r). \quad (7.4)$$

Здесь надстрочным индексом (') отмечены критичные значения; а), б), в), г) — варианты в соответствии с рис. 5.

Примеры оценки значений устойчивости медицинского учреждения

Поэтапно оценим положение центра массы, а также условия устойчивости, наклона, опрокидывания и сдвига для структуры функционала МУ.

Этап 1

Оценка положения центра массы структуры функционала МУ (на примере НПЦ «Бонум»).

Дано: радиус i -го слоя, как охват служб МУ в виде экспертных значений; четыре ситуации, моделирующие распределение тяжести слоев. Высота (h_i) слоев принята одинаковой. Расчет r_0 проведен по моделям (4–6), Y_0 — по рис. 6, а исходные данные и результаты сведены в табл. 3.

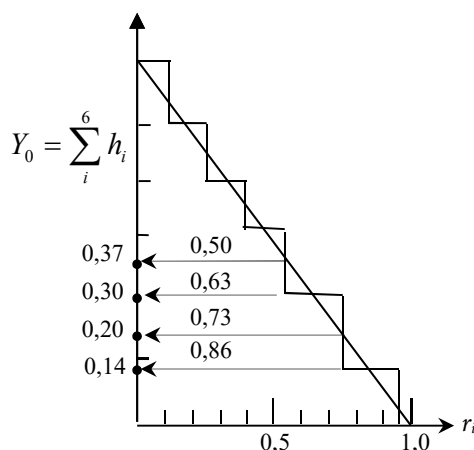


Рис. 6. Графическое определение Y_0 (количество слоев взято из табл. 3)

Видно, что значения Y_0 меняются в 2,5 раза для рассмотренных ситуаций в варианте а). Уместно резюме: координата Y_0 может быть индикатором (маркером) для оценки предпосылок к неустойчивости — чем больше Y_0 , тем больше таких предпосылок. Т. е. в крайнем случае при легком основании и тяжелой вершине конструкция предельно неустойчива. Следствие: основанию следует уделять самое пристальное внимание. Эти выводы, очевидные с технической точки зрения, забываются в суете практической деятельности МУ.

Таблица 3

Расчет координаты Y_0 центра масс «пирамиды» структуры функционала МУ на примере НПЦ «Бонум»

Слои		Значимость (d) по ситуациям:**				r_i , охват служб МУ	$S_i = \pi r_i^2$	h_i	$V_i = (S \cdot h)_i$
i	Наименование*	1	2	3	4				
1	ЭБ	0,30	0,10	0,01	0,01	1,00	3,10	0,15	0,470
2	Д	0,15	0,16	0,22	0,04	0,75	1,80		0,270
3	Л	0,15	0,16	0,22	0,15	0,55	0,95		0,140
4	Р	0,15	0,16	0,22	0,30	0,40	0,50		0,080
5	П	0,15	0,30	0,22	0,40	0,25	0,20		0,030
6	С	0,10	0,10	0,11	0,10	0,12	0,05		0,008

Слои		$m_i = (V \cdot d)_i$ по ситуациям:				r_0 , по ситуациям:				Y_0 , по ситуациям:			
i	Наименование*	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ЭБ	0,140	0,050	0,005	0,005	0,86	0,73	0,63	0,56	0,14	0,20	0,30	0,37
2	Д	0,270	0,040	0,060	0,010								
3	Л	0,140	0,020	0,030	0,020								
4	Р	0,080	0,010	0,018	0,024								
5	П	0,030	0,005	0,007	0,012								
6	С	0,008	0,0008	0,0008	0,0008								

* ЭБ — эпидбезопасность, Д — диагностика, Л — лечение, Р — реабилитация, П — профилактика, С — социализация.

** Ситуации: 1 — тяжелый 1-й слой, 2 — тяжелый 5-й слой, 3 — легкий 1-й слой, 4 — легкий 1-й слой, тяжелые 5-й и 6-й слои.

Этап 2

Оценка условий наклона и опрокидывания медицинских структур без внешней силы.

Без внешней силы наклон и опрокидывание возможны вследствие уменьшения площади основания, как это показано на рис. 3. Эту ситуацию поясняет рис. 7. Видно, что уменьшение радиуса нижнего слоя круговой конструкции может привести к реализации варианта б) (см. рис. 5) и даже опрокидыванию без внешней силы.

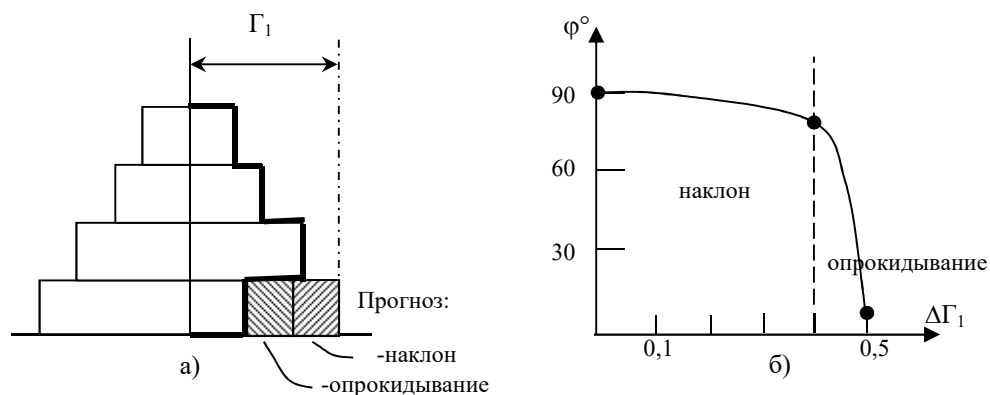


Рис. 7. Схема а) и зависимости б) ситуаций наклона и опрокидывания при уменьшении r_1 за счет влияния помех на характеристики основания

Этап 3

Оценка условий опрокидывания и сдвига / скольжения МУ под действием внешней силы.

С учетом правила (7.4) рассмотрим составляющие силы трения [9] медицинской конструкции об опору:

$$F_3 = F_3^{\Pi} + F_3^C, \quad (8)$$

где индексы «П» и «С» относятся к трению покоя и скольжения следовательно;

$$F_3^{\Pi} = \sum_{k=1}^m (F_{3B3}^{\Pi} \cdot \alpha_{B3}^{\Pi})_k, \quad (9)$$

где F_{3B3}^{Π} — силы взаимодействия конструкции с опорой, α_{B3}^{Π} — вес, k — управляющая переменная для перебора слагаемых;

$$F_3^C = f \cdot p, \quad (10)$$

где p — вес конструкции, f — коэффициент трения скольжения.

Для МУ силы $(F_{3B3}^{\Pi})_k$ могут иметь в качестве содержательного наполнения прочность при:

- $k = 1$ — положения МУ во внешней среде (министерство здравоохранения, однопрофильные учреждения и т. п.);
- $k = 2$ — связи администрации с подразделениями МУ;
- $k = 3$ — связей между подразделениями МУ;
- $k = 4$ — связи руководства подразделений с исполнителями;
- $k = 5$ — связи между исполнителями.

Пример экспертных оценок в диапазоне от 0 до 1 приведен в табл. 4.

Таблица 4

Оценка силы взаимодействия F_3^H , обеспечивающей трение покоя*

k	1	2	3	4	5
F_3^H в МУ НПЦ «Бонум»	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4

* по модели IDEF [7].

Видно, что значения сил трения покоя незначительны, следовательно возможен неприятный вариант сдвига этих конструкций вниз по рейтингу. Силы трения скольжения (F_3^C) вряд ли смогут сдержать этот сдвиг как при наличии смазки (разные факторы, например, незнание правил игры в рейтинг, какие-либо накопившиеся прежние нарушения и т. п.), так и без нее.

Этап 4

Оценка условий качения МУ под действием внешней силы.

Момент сопротивления качению: $M = \delta \cdot p$, где δ — коэффициент трения качения [9]. В качестве катков могут выступать округлые остатки основания конструкции при его разрушении или привнесенные извне элементы.

Примеры по всем четырем этапам позволяют сделать вывод о прогностических возможностях предложенного подхода, который целесообразно поддерживать программными средствами мониторинга, расчетов и мультимедийной компьютерной визуализации [10].

О перспективе практической реализации

Практическая реализация предложенного подхода возможна путем:

- разработки пакета алгоритмических моделей мониторинга, расчета характеристик, визуализации объектов и ситуаций, выработки подсказки, поддержки подготовки и принятия управленческих решений;
- составления технического задания и проектной документации;
- последующего кодирования алгоритмов до программного обеспечения;
- создания специализированной организационно-технической структуры в составе МУ.

Результаты и выводы

1. Поставлена задача создания графических моделей и формализованного описания статической устойчивости структур МУ на базе эпидемиологического и информационного благополучия.
2. Созданы графические модели структур типа пирамида, отражающие слои конструкции, устройство основания и варианты устойчивости.
3. Дано формализованное описание устойчивости симметричной медицинской конструкции типа пирамида с использованием понятий: центр массы и его координаты, действующие силы, условия устойчивости.
4. Приведены примеры оценки устойчивости для МУ в целом.

5. Сделаны выводы о прогностических возможностях предложенного подхода для предупреждения потери устойчивости рассмотренных структур; о достаточности этих наработок для создания алгоритмов и программного обеспечения мониторинга, расчетов и компьютерной визуализации, направленных на решение подобных задач.

Литература

1. Тихомилов С. Мероприятия по повышению устойчивости функционирования лечебно-профилактического учреждения в чрезвычайных ситуациях // URL: <http://prizvanie.su/?p=1972>.
2. Аминов Р. Медицина катастроф: метод. Пособие. Тема 4. URL: <http://www.twirpx.com/file/1180673>).
3. Забродская Л. Финансирование как фактор устойчивости развития учреждения здравоохранения (URL: <http://www.economika-st.ru/economika/economika-zdrav/>).
4. Самохина Л. В, Салошник В. М., Аветян К. Р. Управление персоналом как фактор устойчивости функционирования учреждения здравоохранения в условиях рынка медицинских услуг // Вестник общественного здоровья Дальнего Востока. ДГМУ, 2010. 7 с. URL: <http://vozzdrv.fosmu.ru/20101/20101/3.pdf>.
5. Результаты мониторинга устойчивости к дезинфектантам у микрофлоры лечебно-профилактических учреждений // Главная медицинская сестра. № 9. 2009. URL: <http://www.zdrav.ru/articles/practicl/detail.php?ID=76020>.
6. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения. [федер. закон: принят Гос. Думой 30.03.1999 г.
7. Самосудов М. В. Механизмы управления системной устойчивостью компании // Современная конкуренция. 2008. № 4.
8. Центр масс тела. URL: http://pace.ru/tsentr_mass_tela_ravnovesie_massa_tela
9. Ильин Н. И., Демидов Н. Н., Новикова Е. В. Ситуационные центры. М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.

К. М. Зейде

ПРЕДСКАЗАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭМ ДИФРАКЦИИ В СИСТЕМАХ С ВРАЩАЮЩИМСЯ РАССЕИВАТЕЛЕМ

В этой работе описывается метод предсказания поведения вторичного электромагнитного поля, основанный на корреляционных коэффициентах, вычислительного эксперимента по рассеянию ЭМВ от вращающегося цилиндра. Использование этого метода существенно сокращает время расчета дифракционной задачи.

Ключевые слова: *дифракция, рассеяние, предсказание, моделирование.*

In this work describes the prediction method based on correlating coefficients of computational experiment of electromagnetic scattering on rotating cylinder. Using this method instead of simulating significantly reduces the time of obtaining the desired results. The method was tested statistically on the created mathematical model of a physical system.

Keywords: *diffraction, scattering, predicting, modeling.*

Предсказание поведения математической модели, часто преследует цель экономии времени, особенно в контексте длительного моделирования. Используя предложенный алгоритм, возможно с определенной степенью точности предсказать изменение результатов моделирования, относительно эталонной системы. Данный подход, фактически является сведением результатов моделирования к более общему виду, в целях оптимизации и получения требуемого результата.

Математическая модель симулирует рассеяние плоской электромагнитной волны от вращающегося слабопроводящего круглого, однородного цилиндра, ориентированного перпендикулярно к волновому вектору падающей волны, и бесконечному по этой оси [1]. Эталонной системой является система с неподвижным цилиндром, при прочих равных параметрах. Цель предсказания — указать качественно и количественно влияние вращения цилиндра на его диаграмму рассеяния (ДР). Данный алгоритм может быть также использован и для учета влияния вращения на другие радиолокационные параметры рассеивателя.

При высоких угловых скоростях (Ω), угол ориентации максимума главного лепестка диаграммы рассеяния (θ_{max}), смещается в противоположную сторону, относительно направления вращения (при определенных входных параметрах направление смещения может совпадать с направлением вращения [2]). При увеличении Ω , растут потери ЭМ мощности в среде, связанные с поверхностным током, как следствие уменьшается рассеянная амплитуда. Коэффициент соот-

носимости по скорости задается в форме (a — радиус цилиндра; V_ϕ — фазовая скорость распространения падающей волны)

$$\tau v = \frac{\Omega a}{V_\phi} \quad (1)$$

Алгоритм предсказания (эталонная ДР априорно известна):

1. Получение функций изменения вида ДР: $\theta_{\max}(\tau v)$ и $\langle E \rangle(\tau v)$ ($\langle E \rangle$ — средняя рассеянная мощность электрического поля);
2. Установление границ линейного участка функций (разница достоверно линейной функции и экспериментально полученной, показывает точность предсказания);
3. Нахождение аналитического уравнения прямой, соответствующей, линейному участку функции;
4. Решение уравнений, относительно θ_{\max} и $\langle E \rangle$ для τv ;
5. Корректировка эталонной ДР, с учетом найденных величин.

На рис. 1 показаны ДР для вращающегося цилиндра, полученные моделированием системы и предсказанием по указанному алгоритму. Эталонная система представлена следующим образом: нормированная к единице амплитуда падающей плоской волны, с частотой 2 ГГц, распространяется в вакууме. Для цилиндра: $a = 0,1$ м, $\epsilon r = 4$, $\mu r = 1$, $\sigma = 0,012$ см/м.

Рассчитанные функции изменения ДР (в квадратных скобках указаны границы линейной области для τv):

$$\begin{aligned} \Theta_{\max}(\tau v) &= 135,636 \tau v + 0,881 & [0,0055 \div 0,023]; \\ \langle E \rangle(\tau v) &= -1,041 \tau v + 1,003 & [0,003 \div 0,027]. \end{aligned} \quad (2)$$

Корректировка эталонной ДР производится геометрическим образом, и не требует особых временных и вычислительных ресурсов.

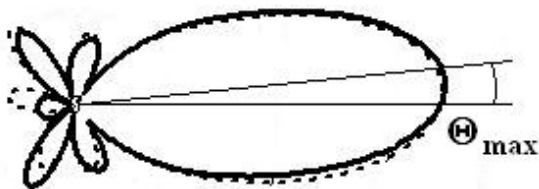


Рис. 1. Диаграммы рассеяния для вращающегося цилиндра, при $\tau v = 0,02$:

(—) — результат предсказания; (---) — результат моделирования

Как видно из рис. 1, главный и боковые лепестки диаграммы практически полностью совпали, однако отраженная волна существенно отличается. Этот факт накладывает определенные ограничения на диапазон достоверности алгоритма предсказания. В представленном случае среднеквадратичное отклонение

амплитуды результирующих функций составляет $\sim 0,009$, что является прямой оценкой точности предсказания.

Обоснование предложенного алгоритма заключается, во-первых, в точностно-временной оценке, а, во-вторых, в ширине диапазона применимости. Нет особого смысла предсказывать быстро анализируемые системы, или системы с априорно известным результатом, данная работа актуальна, только в целях проверки работоспособности алгоритма. Если предсказание поведения существенно экономит время расчета, и предоставляет результат с точностью, не ниже требуемой, использование алгоритма правомерно. Быстрота расчета в математической модели зависит от множества параметров, но в общем случае задается количеством членов в рядах Фурье (стандартное разложение классической записи зависимости амплитуды вторичного поля от точки расчета), так называемая аппроксимация бесконечности, и длиной контура, по которому берутся отчеты о состоянии системы. И тот и другой параметр — настраиваемый, и очевидно существенно влияет на результирующую точность. Количество членов суммирующих серий (n) не превышает значения 180. Длина контура неограничена. Дискрет контура (Δ), при достаточной точности не должен быть ниже 10 точек на λ (длина падающей волны). При максимальной точности время расчета будет значительным. Если положить, что для обработки результатов допустимой точностью является достоверность N -го знака после запятой, то применимость алгоритма выражается условием:

$$N_{predict} = N \left| t_{predict} \ll t_{calc} \right| N_{calc}(n, \Delta) = N, \quad (3)$$

Индексы «*predict*» и «*calc*» — означают, соответственно, предсказанные и рассчитанные величины. Значение N_{calc} в (3) должно зависеть только от n и Δ (а не от физических параметров системы). Представленный на рис. 1 результат получен с точностью $N = 4$ и не зависит от физических параметров системы, что полностью соответствует условию (3).

Ширина диапазона применимости, как говорилось выше, ограничивается предсказанием поведения только главного луча ДР — это означает, что алгоритм правомерен только в тех случаях, когда рассеиватель формирует излучаемое в бесконечность вторичное поле. При больших электрических радиусах цилиндра — отраженное поле может превосходить излучаемое, подобная ситуация наблюдается при высоких значениях проводимости цилиндра. В случае малых электрических радиусов ($ka < 1$), влияние вращения цилиндра на вторичное поле минимально, и сглаживается при аппроксимации линейных участков. При очень больших значениях электрического радиуса ($ka > 18$), поле излучаемое в бесконечность обусловлено появлением поверхностных волн [4], в этих случаях применение алгоритма также не дает существенного результата.

Практический и теоретический интерес в использовании предложенного алгоритма, обуславливается также возможностью отслеживать различные физические процессы, проявляющиеся при рассеянии ЭМВ от вращающихся объектов.

В силу того, что в выражении (2) для $\langle E \rangle$, угловой коэффициент является числом отрицательным, можно сделать вывод, что при инициализации осевого движения электромагнитные потери в диэлектрике увеличиваются с ростом угловой скорости рассеивателя. В общем случае, на линейном интервале может решаться радиолокационная задача установления скорости вращения цели.

Литература

1. *De Zutter D.* Scattering by a Rotating Circular Cylinder with Finite Conductivity // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1983. Vol. AP-31.
2. *Van Bladel J.* Electromagnetic Fields in the Presence of Rotating Bodies // Proc. IEEE. 1976. Vol. 64.
3. *Петров Б. М.* Прикладная электродинамика вращающихся тел // Горячая линия — Телеком. 2009.
4. *Панченко Б. А.* Рассеяние и поглощение электромагнитных волн неоднородными сферическими телами. М.: Радиотехника, 2012.

Т. Л. Зябликова

РАЗРАБОТКА КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ

В работе рассматриваются возможности и ограничения средств создания тематических карт. Средствами создания тематических карт являются геобраузеры, веб-сервисы и настольные приложения. Геобраузеры и веб-сервисы позволяют добавлять объекты по-одному. Некоторые веб-сервисы позволяют осуществлять публикацию пачками данных, но эти данные должны быть представлены в определенном формате. Настольные приложения многофункциональны, но имеют перегруженный интерфейс и требуют дополнительных знаний для работы с ними. Для решения существующих проблем средств создания тематических карт автор предлагает новый сервис, который предоставляет все удобства веб-сайтов и позволяет создавать тематические карты на основе разнородных источников данных.

Ключевые слова: *картография, тематическая карта, веб-сервис, базы данных.*

In the article reviewed the possibilities and limitations of means for creating thematic maps. Means of creating thematic maps are geobrowsers, web-services and desktop applications. Geobrowsers and web-services allow you to add items "one by one". Some web-services allow you to publish buckets of data, but these data should be represented in a specific format. Desktop applications are multifunctional, but this applications have overloaded interface and require additional knowledge to work with them. In order to solve the existing problems of means for creating thematic maps the author offers a new web-service that provides all the convenience of web sites and allows you to create thematic maps based on heterogeneous data sources.

Keywords: *cartography, thematic map, web service, database.*

В настоящее время все больше и больше информации переводится в электронный вид. Сейчас уже сложно найти данные, которые хранятся только на бумажных носителях. И это неудивительно: работа с электронными данными намного проще, чем работа с данными на бумажных носителях, это обусловлено возможностями поиска, фильтрации и редактирования электронных данных. Получить доступ к данным мы можем легко через сеть интернет. Эти данные могут быть абсолютно любыми: начиная с каталогов товаров и заканчивая узкоспециализированными данными. Тематические карты являются примером таких узкоспециализированных данных. Электронные тематические карты необходимы специалистам, чья работа связана с принятием решений, т. к. они более наглядны, что позволяет лучше изучить и проанализировать пространственные явления. Тематическими называются географические карты, показывающие расположение и динамику лишь одного географического явления или специальных элементов, более широко раскрывающих

природу этого явления, используя прочие явления лишь в качестве ориентиров. Этим тематические карты отличаются от общегеографических, отображающих все географические, геологические и политические явления данной местности [1]. Электронные тематические карты находят все большее применение в рациональном использовании природных ресурсов и в экономике в целом. Электронные тематические карты содержат дополнительные сведения экономического, экологического, природного характера, представляющие интерес для привлечения бизнеса с целью социального и экономического развития территории.

Несмотря на бурное развитие технологий, средства, которые позволяют создать тематические карты, значительно ограничены. Основными средствами, которые позволяют создавать тематические карты, являются геобраузеры, веб-сервисы и настольные приложения.

Сведем возможности и особенности средств создания тематических данных в единую таблицу.

Таблица 1

Сравнение аналогов системы

Критерии сравнения	Средства создания тематических карт		
	Геобраузеры [2, с. 3]	Настольные приложения	Веб-сервисы
Установка	Требуется	Требуется	Не требуется
Возможность публикации данных	Ограничена	Не ограничена	Ограничена
Функционал	Ограничен	Широкие возможности	Ограничен
Сложность интерфейса	Простой	Сложный и перегруженный	Очень простой
Примеры продуктов	Google Earth, Virtual Earth, ArcGIS Explorer	ArcGIS [3], Mapinfo [4], QGIS [5], gvSIG [6]	Google Maps [7], Яндекс.Карты [8], thematic-mapping [9], OpenStreetMap [10]
Лицензия	ППО*	QGIS, gvSIG — Open Source; Mapinfo, ArcGIS — ППО	Google Maps, Яндекс.Карты, thematicmapping.org — ППО; OpenStreetMap — свободный картографический веб-сервис

* ППО — проприетарное программное обеспечение

Многочисленные картографические веб-сервисы и геобраузеры обычно предоставляют набор уже созданных карт. Эти системы предоставляют ограниченные возможности публикации данных на карту. Чаще всего они позволяют добавлять объекты по-одному — т. е. добавлять метки на карту, что является ограничением. Некоторые веб-сервисы позволяют публиковать большой объем данных,

но эти данные должны быть представлены в определенном формате, что также является ограничением.

Настольные приложения лишены этого ограничения, но имеют другие недостатки. Как правило, настольные приложения многофункциональны, и, следовательно, имеют сложный и порой перегруженный интерфейс, в котором легко запутаться. Данная особенность влечет за собой необходимость наличия у пользователя каких-либо расширенных знаний для работы с этой системой. Часть из этих систем является платными коммерческими решениями.

К тому же стоит отметить, что приложения и геобраузеры необходимо устанавливать, что также является своего рода недостатком по сравнению с веб-сервисами.

Веб-сервисы наиболее удобны для пользователя, т. к. они бесплатны, доступны из окна браузера и, следовательно, не требуют установки и не предъявляют требований к программно-аппаратному обеспечению. Но, существующие веб-сервисы имеют существенные ограничения для создания тематических карт на основе пользовательских данных.

Для решения проблем существующих средств создания тематических карт был разработан картографический веб-сервис CreateMaps, позволяющий создавать тематическую карту на основе пользовательских данных. CreateMaps позволяет объединить данные из разнородных баз данных и представить их на одной карте.

Архитектура системы

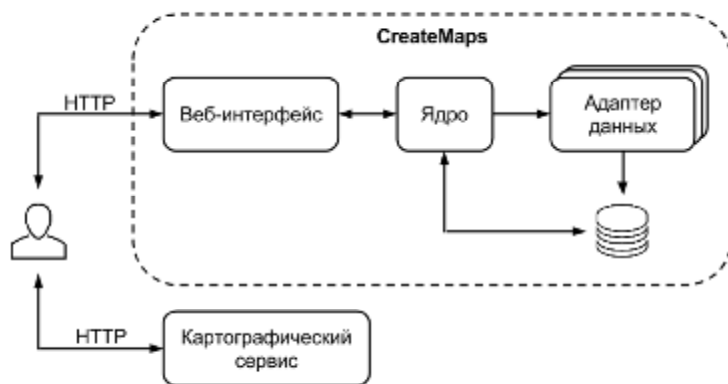


Рис. 1. Взаимодействие компонентов системы

Система содержит следующие компоненты:

- Адаптер данных — компоненты, производящие преобразования данных из источника данных к требуемому формату. Выбор компонента «Адаптер данных» засвистит от типа источника данных.

- Хранилище данных — хранит преобразованные объекты в требуемом формате.
- Веб-интерфейс — интерфейс для взаимодействия с пользователем.
- Ядро — отвечает за основную логику системы. В зависимости от типа источника данных выбирает соответствующий «Адаптер данных» и осуществляет формирование объектов.
- Картографический сервис — сервис, предоставляющий карты для наложения объектов (используются Яндекс.Карты).

Процесс взаимодействия компонентов системы для режима создания карты можно представить следующим образом:

Пользователь, взаимодействуя с веб-интерфейсом, загружает источник данных и указывает названия таблиц и полей, в которых содержится информация о публикуемых объектах. Ядро системы осуществляет подбор требуемого адаптера данных, который производит преобразование разнородных пользовательских данных в собственный формат и сохраняет их в хранилище данных. На основе сохраненных данных ядро CreateMaps формирует запрос для картографического сервиса и объекты для наложения на карту, после чего передает объекты и сформированный запрос клиенту. Клиент, в свою очередь, отправляет полученный запрос на картографический сервис, который предоставляет карту. После получения карты клиентом, на нее накладываются сформированные объекты.

Рассмотрим подробнее процесс публикации данных.

Для публикации данных необходимо указать источник данных, а также названия таблиц и полей, в которых содержится информация о публикуемых объектах. Основная информация едина для всех объектов, она включает в себя координаты, название объекта и некоторые другие данные. По данным полям по-умолчанию производится фильтрация данных. Кроме того, можно указать дополнительную информацию об объектах и определить дополнительные поля для фильтрации.

В результате публикации данных будет создана новая карта, которая будет доступна по автоматически сгенерированной ссылке.

Также данные могут быть опубликованы на общую карту, находящуюся на стартовой странице сервиса, для этого имеется специальное поле «Опубликовать данные на общей карте».

CreateMaps — система, позволяющая в режиме онлайн публиковать большой объем данных на карту. Система CreateMaps имеет открытый исходный код и доступна для использования под лицензией GPL v.3.

Литература

1. Gect.ru: Тематические карты [Электронный ресурс] // Географический информационный проект. URL: <http://gect.ru/maps/thematic.html> (дата обращения: 01.04.2015).
2. Sandvik B. Using KML for thematic mapping // Institute of Geography School of GeoSciences. Edinburgh, University of Edinburgh. MSc in Geographical Information Science. 2008. Т. 22.

3. ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс] // Сайт проекта ARCGIS URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/> (дата обращения: 02.04.2015).
4. mapinfo [Электронный ресурс] // Сайт проекта mapinfo. URL: <http://www.mapinfo.com/> (дата обращения: 02.04.2015).
5. QGIS Свободная географическая информационная система с открытым кодом [Электронный ресурс] // Сайт проекта QGIS. URL: <http://www.qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 02.04.2015).
6. GvSIG Association [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gvsig.com/en> (дата обращения: 02.04.2015).
7. Google Maps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.ru/maps> (дата обращения: 03.04.2015).
8. Яндекс.Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://maps.yandex.ru/> (дата обращения: 03.04.2015).
9. Terrain mapping with three.js [Электронный ресурс]. URL: <http://thematicmapping.org/> (дата обращения: 03.04.2015).
10. OpenStreetMap [Электронный ресурс]. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 03.04.2015).

А. Н. Камбаров, Н. А. Тулаганов

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

В данной работе представлены проблемы обеспечения информационной безопасности Казахстана. Рассмотрены современные аспекты обеспечения информационной безопасности Республики Казахстан. Развитие государства и общества как политико-правовых явлений осуществляется всегда в четко определенных исторических и территориальных факторах, которые обуславливают это развитие. При этом угрозы для государства, общества и человека также находятся в постоянном изменении, адекватном развитию общества и государства. Современные мировые тенденции сегодня сигнализируют о возникновении новых форматов угроз для национальной безопасности Казахстана в XXI в.

Ключевые слова: информация, информационные технологии, информационная безопасность.

This paper presents the problem of information security Kazakhstan. The modern aspects of information security of the Republic of Kazakhstan. Development of the state and society as a political and legal phenomena is always carried out in well-defined historical and regional factors that cause this development. At the same time a threat to the state, society and man are also in constant change, adequate development of the society and the state. Modern global trends today signaled the emergence of new formats threats to the national security of Kazakhstan in the XXI century.

Keywords: information, information technologies, information security.

Проблема информационной безопасности публики на сегодняшний день стала стратегической проблемой, которая включает в себя комплексные понятия — «международная безопасность» и «национальная безопасность». Информационная безопасность включает в себя три составляющие: требования, политику и механизмы. Требования характеризуют цели защиты. Они могут отвечать на такой вопрос как: «Что вы хотите от вашей безопасности?». Политика характеризует значение защиты. Это значение должно отвечать на вопрос: «Какие мероприятия должны быть осуществлены в достижении поставленных целей?». Механизмы безопасности должны предопределять ее политику [2].

Национальная безопасность рассматривается в нюансе общественно-финансового развития страны как стратегия государственная, производимая для сохранения и защиты технических и языковых данных, предотвращения информационных войн [3]. Представление и изучение данных явлений, формирование граней противодействия — главные проблемы, решение которых обусловлено направлением всей системы национальной безопасности.

Актуальность проблемы обеспечения информационной защиты информации обусловлена в первую очередь, тем, что в современном обществе данные стали стратегическими национальными ресурсами. За минувшие годы в Республике Казахстан выполнен ряд мер по совершенствованию концепции обеспечения информационной защищенности страны. В соответствии со Стратегией национальной безопасности Республики Казахстан была разработана и утверждена Концепция информационной безопасности [4], которая предусматривает реализацию комплекса законных, организационных и научно-промышленных мероприятий, направленных на мониторинг, выявление, предупреждение и предотвращение угроз в области информационной безопасности. Технический прогресс в областях микроэлектроники, аппаратных и программных средств, а также вычислительной техники делает процесс развития информационных технологий быстрым и оказывает большое влияние на их совершенствование.

Развитие, связанное с информатизацией всех аспектов государственной и социальной жизни, объективно говорит о том, что существование современного независимого государства неразрывно связано с обеспечением информационной безопасности всех звеньев его муниципальных структур. Анализ и исследование мирового опыта показывает, что непосредственно в последние несколько лет случилось качественное изменение в процессе управления всеми уровнями: от межгосударственных образований до личных фирм и банков. В это же время одновременно развивалась и усиливалась опасность несанкционированного доступа к информации с целью получения данных и нарушения их функционирования. Подобная угроза совершенно неоспорима, потому как разрушение и расстройство информационной инфраструктуры страны соизмеримы по силе воздействия с результатами реальных военных операций. Соответствующими должны быть и мероприятия по предупреждению таких последствий. Эффективно противодействовать информационным угрозам в современных условиях способна лишь хорошо организованная государственная система обеспечения информационной безопасности, осуществляемая при абсолютном взаимодействии всех государственных органов, негосударственных структур и граждан Республики Казахстан.

К внутренним атакам информационной защиты относятся:

- направленное изменение данных, целью которого является отрицательное общественное мнение и побуждение принятия необдуманного политического решения;
- невысокая техническая укомплектованность линий связи и их охрана;
- неудовлетворительная степень качества информационных, телекоммуникационных ресурсов, снижение значимости и ненадлежащее обеспечение всех прав негосударственных печатных, теле- и радиокомпаний на приобретение и распространение данных;
- компьютерные правонарушения.

Для надлежащего решения задачи обеспечению информационной безопасности в Казахстане, на наш взгляд, необходимо наличие единой политики взаимодействия государственных органов с индивидуальным сектором и средствами массовой информации.

Используя правила, можно добиться высокого результата в области защиты информационной безопасности.

В некоторых случаях можно использовать и традиционные средства защиты или компенсировать отсутствие специализированных решений дополнительными техническими и организационными мерами, которые могут повлечь за собой дополнительные риски, связанные с человеческим фактором, необходимостью увеличения количества требуемых ресурсов и проблемами совместимости.

Например, для защиты виртуальных машин могут применяться антивирусные средства, которые уже используются в компании. В этом случае необходимо более тщательно подойти к составлению расписания, по которому будут проверяться виртуальные машины. Таким образом можно избежать критической загрузки виртуальных серверов.

Еще один момент, на который стоит обратить внимание, — применение средств контроля несанкционированного доступа. Практически все проблемы в этой области возникают из-за невыполнения рекомендаций производителей платформ виртуализации. Документы, в которых четко описаны действия администратора по безопасности, имеются для множества платформ виртуализации. Часть из них выпущена самими производителями, часть — экспертными сообществами. Например, подобные руководства предостерегают от использования встроенных «по умолчанию» в платформу ролей. Перед началом работы необходимо составить матрицу доступа и уже по ней сформировать требуемые для работы с виртуализированной инфраструктурой роли.

Особую роль при построении системы обеспечения безопасности виртуализированных и гибридных инфраструктур (имеющих в своем составе как виртуализированные, так и физические сегменты инфраструктуры) играют сетевые средства защиты. Одним из объектов воздействия на виртуализированную инфраструктуру могут служить сетевые каналы взаимодействия виртуальных машин и внешние сетевые каналы управления виртуализированной инфраструктурой [6]. При этом важно понимать, что такие средства защиты широко представлены на рынке, но мы рассматриваем только те средства защиты сети, которые специально предназначены для виртуализированных инфраструктур и заявлены самим разработчиком.

Очень важно рассмотреть общие защиты виртуализации, какими принципами руководствоваться при выборе специализированных средств защиты? Правила помогут осуществить цель. Существует несколько основных правил:

1. Необходимо помнить, что большая часть из этих средств защиты не является специализированными средствами для виртуализированной инфраструктуры, а представляет собой лишь адаптированные средства защиты для работы

в виртуальной среде. Такие решения работают внутри виртуальной машины, так же как и на физическом сервере, не зная о своем виртуальном окружении и не позволяя бороться со специфическими угрозами и уязвимостями виртуальной инфраструктуры. Сложность возникает в том, чтобы отличить одно решение от другого.

2. Необходимо рассматривать функционал продукта и проверять, как он реализуется на практике. Рекомендуется посетить специализированные интернет-ресурсы, где специалисты обмениваются опытом и обсуждают сильные и слабые стороны конкретного продукта.

3. Необходимо учитывать, для каких конкретно платформ виртуализации (и их версий) предназначено средство защиты.

4. При выборе сертифицированных продуктов необходимо обращать внимание на технические условия, по которым этот продукт прошел сертификацию. В них должны быть прописаны: среда тестирования, ограничения по эксплуатации и функционал, на который выдан сертификат.

Используя правила, можно добиться высокого результата в области защиты информации. Другой вариант использования виртуализации рабочего места — это усиление контроля организации за пользовательской средой [7]. Организация хранит хорошо известный образ, который содержит операционная система (ОС) и все приложения, необходимые пользователю. Пользователь загружает образ и выполняет все работы внутри этого образа, не на хостовой ОС, и затем покидает гостевую ОС. Позже, пользователь перезагружает гостевую ОС, чтобы сбросить все предыдущие изменения. Преимущества такой стратегии в том, что вредоносные изменения, которые были допущены в работе, или установленное вредоносное ПО будут стерты при выходе.

При виртуализации рабочего места, пользовательские данные в нормальном режиме хранятся на хосте или в сети, иначе бы они просто терялись при каждом выходе пользователя из системы. Этот пункт может стать наиболее сложным и отталкивающим пользователей: очень легко сохранить новый документ в том месте, где он был создан, и только позже обнаружить, что документ потерян из-за того, что был сохранен не в той директории [8]. Некоторые системы виртуализации рабочего места имеют методы, удостоверяющие, что пользовательские данные корректно сохранены перед выходом, но подобные методы не являются надежными.

Среда виртуализации — это особый программно-аппаратный слой в инфраструктуре компании, который отличается от традиционной физической архитектуры наличием абсолютно новых составляющих: гипервизора, средств управления и обслуживания виртуализированной инфраструктуры. Ключевым элементом архитектуры среды виртуализации является гипервизор.

Он обеспечивает осуществление нескольких операционных систем, их изоляцию друг от друга и разделение ресурсов между ними. Получив контроль над гипервизором, злоумышленник приобретает практически неограниченные возможности: он незаметно для средств защиты, установленных в виртуальных машинах,

может перехватывать данные. Фактически именно эти составляющие становятся основными объектами атак виртуализированной инфраструктуры, т. к. компрометация гипервизора может привести к компрометации всех виртуализированных серверов и рабочих станций, а захват средств управления виртуализированной инфраструктуры поставит под угрозу всю инфраструктуру компании. Следовательно, вместе с плотностью размещения виртуальных машин растут и риски. В связи с этим защита составляющих виртуализации является ключевой задачей в общей стратегии защиты информации в виртуализированной инфраструктуре.

Классический пример определяет возможности для эффективного понимания процесса. Предположим, что одна служба содержит критичную информацию и защищается очень хорошо, тогда другая служба на том же хостинге содержит мало важную информацию и защищается соответственно слабее. Атакующий, который хочет завладеть критичной информацией, может сначала успешно проатаковать слабо защищенную службу и затем, используя уже тот факт, что он внутри виртуальной сети, попытаться получить доступ к критичной службе или провести атаку на гипервизор, что также предоставит возможность доступа к этой службе.

Организации, которые имеют политики, относящиеся к распределению вычислительных ресурсов, должны учитывать виртуализацию в таких политиках.

Виртуализация используется для запуска серверов на множестве хостов и для миграции серверов от хоста к хосту, основанной на изменяющихся потребностях в ресурсах, это называется облачными вычислениями. Облачные вычисления — это «модель удобного подключения по требованию сетевого доступа к общему набору настраиваемых вычислительных ресурсов (например, сетей, серверов, хранилищ, приложений и услуг), которые могут быть быстро предоставлены с минимальными управляющими усилиями со стороны поставщика услуг».

Одна из наиболее общих причин использования виртуализации рабочего места — это возможность пользователя запускать приложения для разных ОС на одном хосте. Без виртуализации это можно было бы реализовать использованием множества устройств, отдельного для каждой ОС, или настройкой одного устройства загрузаться с разных ОС и использовать только одну ОС одновременно. Виртуализация позволяет пользователю иметь доступ к нескольким ОС одновременно на одном компьютере. Гипервизор полной виртуализации инкапсулирует все компоненты гостевой ОС, включая ее приложения и виртуальные ресурсы, в одну логическую сущность. Образ — это файл или директория, которая содержит, как минимум, эту инкапсулированную информацию. Образы хранятся на жестких дисках и могут быть перенесены на другую систему так же как и любой файл. Некоторые системы виртуализации используют для образов стандарт, называемый Open Virtualization Format (OVF), который обеспечивает независимость образа от платформы виртуализации [9].

Снимок (snapshot) — это запись состояния запущенного образа, обычно в виде отличий между образом и текущим состоянием. Например, снимок будет

записывать изменения в виртуальном хранилище, виртуальной памяти, сетевых подключениях и т. п. Снимки позволяют гостевым ОС быть остановленными, а затем возобновленными без выключения или перезагрузки. Многие, но не все системы виртуализации могут делать снимки.

На некоторых гипервизорах снимки гостевых ОС могут быть возобновлены (запущены) на разных хостах. Правда, здесь может возникнуть ряд проблем при обработке живой миграции (live migration/real-time migration), включая задержку передачи и любые различия между двумя физическими серверами (например, IP-адрес, число процессоров или количество дискового пространства), но большинство решений имеют механизмы решения этих проблем. Если на целевой системе развернуто то же средство виртуализации, многие из этих проблем не возникнут. Тем не менее, живая миграция даже в однородной среде — это потенциальные конфигурационные ошибки, которые могут повлиять на безопасность гостевых ОС.

Литература

1. Geer D., Hoo K., Jaquith A. Information Security: Why the Future Belongs to the Quants // IEEE Security & Privacy. Vol. 1. No. 4. July/August 2003. P. 24–32.
2. Bishop M. What Is Computer Security? // IEEE Security & Privacy. Vol. 1. No. 1. January/February 2013. P. 67–69.
3. Gliedman C. Managing IT Risk with Portfolio Management Thinking // CIO (Analyst Corner). URL: www.cio.com/analyst/012502_giga.html.
4. Махмұтов А. Концепция национальной безопасности Казахстана в контексте современных внешнеполитических реалий // Материалы круглого стола «Внешнеполитические перспективы и новые концепты международной стратегии Казахстана». Институт мировой экономики и политики при Фонде Первого Президента Республики Казахстан — Лидера Нации. 2012. 12 марта. URL: iwep.kz/index.
5. Дмитриенко Т. А. Обеспечение информационной безопасности и развитие информационной инфраструктуры Республики Казахстан // ANALYTIC: информационно-аналитический журнал. 2013. № 5. С. 12–14.
6. Стрельцов А. А. Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности // Технологии безопасности. № 11. С. 54.
7. Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 сентября 2011 г. № 1128 «О проекте Указа Президента Республики Казахстан „О Концепции информационной безопасности Республики Казахстан до 2016 года“» (утвержден) // Электронная база нормативно-правовых актов «Параграф». URL: online.zakon.kz.
8. Информационная безопасность. Комитет национальной безопасности Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: <http://www.knb.kz/>
9. Колоскова Г. Модели и алгоритмы реконфигурации многопроцессорных систем. Курск: Курский гос. техн. ун-т, 2004. 257 с.
10. Takanami I. Built-in Self-Reconfiguring Systems for Fault Tolerant Mesh-Connected Processor Arrays by Direct Spare Replacement // Proc. IEEE Intern. Symp. Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems. 2001. P. 134–142.

А. В. Роднин, В. Ю. Турчик

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В СРЕДСТВАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ БАЗ ДАННЫХ

В статье рассматриваются вопросы проектирования средств защиты информации (СЗИ) в базах данных с учетом эволюционного характера угроз информационной безопасности, обсуждаются преимущества применения интеллектуального анализа данных при создании перспективных СЗИ.

Ключевые слова: *информационная безопасность, интеллектуальный анализ данных, базы данных*

The article deals with the design of database information security systems considering evolving nature of information security threats. The benefits of the application of data mining in creating advanced information security systems are discussed.

Keywords: *information security, data mining, databases.*

Введение

Любая технология защиты информации имеет ряд ограничений, связанных со скоростью предотвращения атак на информационные системы организации. В контексте защиты БД атакой следует считать совокупность шагов, направленных на нарушение правил информационной безопасности (ИБ) путем компрометации, искажения и разглашения критически важных данных организации в обход политик ИБ.

Традиционный подход к получению актуализированного уровня защиты информации заключается в следовании требованиям законодательства (требованиям ФСТЭК, ФСБ, правилам обработки персональных данных) и стандартов (ГОСТ — государственных стандартов РФ, ISO/IEC — семейству международных стандартов серий «Информационная технология. Информационная безопасность»).

Применение технических и организационных мер обеспечивает баланс трех ключевых элементов системы управления ИБ: аппаратного обеспечения, программного обеспечения, регламентного обеспечения.

Однако, согласно [1] в течение 2014 года 98 % организаций столкнулось с угрозами информационной безопасности. Из них 87 % организаций пострадали от утечек конфиденциальных данных, санкционированных внутренними факторами, в том числе по вине внутренних нарушителей. В связи с этим отмечается рост рынка средств класса DLP (Data Leak Prevention), которые, однако, не решают проблемы несанкционированного доступа к информации, обрабатываемой в корпоративных базах данных.

Динамика роста инцидентов ИБ говорит об их эволюционном характере. Специфика угроз такого рода заключается в сложности их формализации и, следовательно, их идентификации лицом, ответственным за ИБ. С этим связана актуальность данной работы — применение методологии интеллектуального анализа данных (ИАД) при проектировании перспективных средств защиты информации. Методы искусственного интеллекта и ИАД позволяют распознавать угрозы по совокупности неявных признаков в сочетании с набором нечетких правил и применять необходимое управляющее воздействие с целью предотвращения атаки.

Предполагается, что в результате реализации требований, перечисленных в данной работе, возможно получить необходимый уровень защищенности конфиденциальной и коммерчески значимой информации в базах данных информационных систем. Цель данной работы заключается в проектировании СЗИ, основанного на методологии ИАД применительно к действиям пользователя в базе данных.

Постановка задачи

Интеллектуальный анализ данных является одним из прогрессивных способов анализа больших объемов данных. Это процесс обнаружения и дальнейшего применения знаний или ранее неизвестной информации из уже имеющихся наборов [2].

Основными задачами ИАД являются классификация, кластеризация, ассоциация, прогнозирование, последовательность.

С точки зрения системного анализа проектируемое решение можно представить в виде следующей формальной модели:

$$\langle A, X, Y, K, R, S, Z \rangle, \quad (1)$$

где A — множество состояний системы; X — набор входных объектов; Y — набор управляющих воздействий, направленных на обработку входных объектов; K — множество критериев, характеризующих поведение пользователей в системе; R — правила перехода системы из одного состояния в другое; S — правила представления данных; Z — целевое состояние системы, характеризуемое заданным уровнем защищенности.

При постановке задачи необходимо подготовить информацию о внешней среде, включающую следующие составляющие:

- отчет, содержащий данные о работе бизнес-системы;
- модель угроз информационной безопасности;
- систему критериев для выбора методов и средств, позволяющих реализовать функцию защиты информации;
- набор методов ИАД, соответствующих заданным критериям.

Пусть имеется множество ситуаций нарушения правил ИБ:

$$X = \{x_1, \dots, x_k\}, \quad (2)$$

Каждое i -е событие описывается вектором признаков:

$$x_i = \{x_i^1, \dots, x_i^n\}, \quad (3)$$

где k — количество угроз ИБ, n — количество признаков. По результатам анализа этих признаков происходит идентификация действий пользователя, а также их классификация по трем классам: «неопасные», «подозрительные», «опасные». Правила R перехода системы из состояния A_1 в состояние A_s позволяют выполнить отображение множества X на множество мер защиты информации Y .

$$Y = \{y_1, \dots, y_m\}, \quad (4)$$

где m — количество защитных мер.

Функция классификации действий пользователя задается в следующем виде [3]:

$$F = \omega_0 + \omega_1 x_1^1 + \dots + \omega_q x_k^n, \quad (5)$$

где $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_q$ — веса независимых переменных, в поиске которых и состоит задача нахождения классификационной функции.

Далее обсуждаются требования к СЗИ, основанным на интеллектуальном анализе действий пользователя в базах данных с учетом эволюционных характеристик угроз ИБ.

Требования

1. Высокая степень интеграции с бизнес-системой заказчика

Высокий уровень системной интеграции достигается при учете необходимости проектирования межсистемных интерфейсов СЗИ — бизнес-система. Причина необходимости повышения уровня системной интеграции вызвана гетерогенностью бизнес-системы заказчика.

В данной работе предлагается рассматривать проектируемое решение как API (application programmer interface), с возможностью встраивания в системы управления базами данных от различных разработчиков. Прототипом такого СЗИ является продукт КристоПро, разработанный на основе «OpenCrypto API». Такой подход позволил разработчикам добиться возможности встраивания данного средства криптозащиты как конструктора в различные приложения: электронную почту, браузеры, CRM-, ERP-систему и т. д. Для разных ситуаций, в которых необходимо шифрование данных, предусматривается подключение разных криптопровайдеров в виде наборов библиотек, реализующих определенные функции криптозащиты.

2. Память и возможность прогнозирования возникновения угрозы

Традиционный подход к проектированию СЗИ предполагает обеспечение следующих свойств информации в базах данных: конфиденциальность, целостность, доступность, неотказуемость, аутентичность, верифицируемость, возможность восстановления после сбоя, подотчетность, надежность.

Методология ИАД позволяет более эффективно выполнять оценку состояния наблюдаемых процессов, выявлять и ранжировать причины значимых изменений, анализировать развитие процессов и вырабатывать рекомендации по подготовке

возможных вариантов решений с прогнозом их последствий. Важной особенностью такого подхода является возможность реализовать в СЗИ эволюционные свойства адаптации, самоорганизации, обучения, возможности наследования и представления опыта экспертов ИБ в виде доступных для анализа системы нечетких правил [4].

3. Адаптивность по отношению к внешней среде

В общесистемном плане адаптация — это способность системы обнаружить целенаправленное приспособляющееся поведение в сложившихся средах, а также сам процесс такого приспособления [5].

В рамках данной работы предлагается рассматривать угрозы нарушения конфиденциальности, целостности и доступности данных, как воздействия, обладающие эволюционным характером. В перспективных средствах защиты информации для реализации функции адаптивности применяются нейронные сети.

Нейронная сеть, обученная с помощью массива первичных данных, содержащего информацию об одной из логических функций, позволяет выявлять скрытую закономерность — вид соответствующей логической функции [6].

4. Управление событиями безопасности и формирование реакции

В теории СЗИ различают одновременное, опережающее и запаздывающее противодействие. Запаздывающее противодействие — такое противодействие, при котором реакция системы защиты начинается к моменту завершения атаки или после нее. Одновременное противодействие — то, что начинается с появлением угрозы. И, наконец, противодействие, носящее опережающий характер, означает, что реакция системы защиты начинается до начала реализации угрозы.

Управление событиями предлагается рассматривать на основе правил. Правила представляются в виде «если - то» и также используются для прогнозирования. На основе частоты встречаемости логических закономерностей делается вывод о возможном событии. Например, цепочка MD — COPYA3 — ARH — WWW — DEL ассоциируется с копированием информации из конфиденциального источника и передачей ее по каналам связи сети Интернет [7].

5. Расширенный мониторинг событий безопасности и их протоколирование

При работе с очень важными данными или при выполнении ответственных операций возникает необходимость организации контрольного журнала (audit trail), в который вносится информация обо всех событиях, происходящих в системе [8].

Типичная запись в файле контрольного журнала может содержать такую информацию:

- сам запрос (исходный текст запроса);
- номер терминала, с которого была затребована операция;

- имя пользователя, затребовавшего операцию;
- переменные отношения, кортежи и атрибуты, вовлеченные в процесс выполнения операции;
- исходные значения изменяемых данных (старые значения);
- модифицированные значения данных (новые значения).

Структурная модель решения



Рис. 1. Системно-структурная модель СЗИ:

В рамке представлен компилятивный прототип.

Штриховка означает модификацию традиционной системы

1. Подсистема аутентификации

Применение открытых каналов передачи данных создает потенциальные возможности для действий злоумышленников (нарушителей). Поэтому одной из важных задач обеспечения информационной безопасности при взаимодействии пользователей является использование методов и средств, позволяющих одной (проверяющей) стороне убедиться в подлинности другой (проверяемой) стороны. Обычно для решения данной проблемы применяются специальные приемы, дающие возможность проверить подлинность проверяемой стороны [9].

2. Подсистема хранения данных

Природа операций ввода-вывода, кэши баз данных, соотношение операций чтения и записи и прочие детали выглядят совершенно по-разному в системах OLTP и DSS. Кроме того, ожидания в отношении показателей времени отклика между этими системами тоже отличаются. Следовательно, схема хранения, прекрасно подходящая для базы данных одного типа, может совершенно не подходить для базы данных другого типа, поэтому для выбора правильных вариантов в этой чрезвычайно важной области, на стадии физического проектирования необходимо узнать об операционных потребностях своего приложения как можно больше [10].

3. Подсистема мониторинга и журналирования

Регистрация действий пользователя осуществляется в журналах аудита СУБД. Подсистема мониторинга и журналирования служит источником информационного сырья, которое необходимо представить в пригодной для анализа форме. Записи в журнале представляют собой некоторое количество кортежей, пригодных для анализа при условии их очистки, удаления недопустимых и ошибочных комбинаций.

Улучшить данную подсистему предлагается за счет введения более чувствительных метрик, направленных на выявление подозрительной деятельности пользователя в базе данных.

4. Подсистема аналитики

Введение данной подсистемы в СЗИ обеспечивает развитие бизнес-логики имеющейся системы. Для исследования поведения различных выборок кортежей с целью определения функции классификации необходимо использовать аппарат теории нечетких множеств и методы интеллектуального анализа данных.

5. Подсистема формирования реакции

Данная подсистема предназначена для выработки оптимального управляющего воздействия, направленного на предотвращение нарушения конфиденциальности, целостности и доступности информации, хранящейся в базе данных. При проектировании данной подсистемы применяется аппарат теории автоматов и лучшие практики (code of practice) информационной безопасности.

Выводы

К основным видам угроз ИБ относятся:

- связанные со злонамеренной модификацией параметров функционирования системы внутренним нарушителем;
- несанкционированный доступ к конфиденциальной информации, имеющейся в системе с целью ознакомления, модификации, блокирования;
- связанные с разграничением прав доступа;
- связанные с передачей информации по каналам связи и работе в сети Интернет.

Рост числа инцидентов ИБ говорит об эволюционном характере угроз. С целью определения потенциальной или реализуемой атаки предлагается использовать методики интеллектуального анализа данных. ИАД — это процесс обнаружения ранее неизвестных скрытых зависимостей и дальнейшего применения знаний из имеющихся наборов данных.

Литература

1. Лаборатория Касперского. Информационная безопасность бизнеса. Исследование текущих тенденций в области информационной безопасности бизнеса. 2014. 19 с.
2. Han J. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann, 2000.

3. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
4. Маслова Н. А. О применении интеллектуального анализа данных для защиты информации корпоративных систем // Искусственный интеллект. 2009. № 4. С. 66–74.
5. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. М.: Экономика, 1975.
6. Жуков В. Г. Модель синтеза коллективов интеллектуальных информационных технологий решения задачи обнаружения инцидентов информационной безопасности // Программные продукты и системы: международный научно-практический журнал. 2014. № 1(105). С. 29–35.
7. Маслова Н. А. О применении интеллектуального анализа данных для защиты информации корпоративных систем. С. 68.
8. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / 8-е изд. М.: ИД «Вильямс», 2005. 1309 с.
9. Шаньгин В. Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учеб. пособие. М.: ИД «ФОРУМ»; ИНФРА-М, 2008. 416 с.
10. Алапати, Сэм Р. Oracle Database 11g: руководство администратора баз данных. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2010. 1440 с.

Д. А. Усталов

ИСТОРИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КРАУДСОРСИНГА КАК НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Сегодня краудсорсинг является широко используемым способом решения многих задач сбора и агрегации данных. В данной работе проведен обзор исследований краудсорсинга как научно-практической дисциплины. Выделены направления исследований и сформулированы некоторые актуальные проблемы данной дисциплины.

Ключевые слова: *краудсорсинг, управление процессом, управление участниками, назначение заданий, оценка качества.*

Today, crowdsourcing became a popular approach for various data collecting and mining tasks. In this work, several modern crowdsourcing studies in different research trends have been discussed and some problems within these trends have been mentioned.

Keywords: *crowdsourcing, process control, worker management, task allocation, quality assessment.*

Введение

Сегодня *краудсорсинг* является широко используемым способом решения многих задач сбора и агрегации данных [1]. Примерами таких задач является обработка естественного языка, инженерия знаний, анализ данных, и др. Несмотря на это, до сих пор чрезвычайно актуальна проблема максимально эффективного использования труда заинтересованных участников. Их доступность и свободное время крайне ограничены, поэтому необходимо извлечь максимально возможную пользу от вклада каждого вовлеченного участника.

Исследования краудсорсинга

Целенаправленные исследования краудсорсинга начались в середине 2000-х гг., что совпало с появлением миллионной статьи в английской «Википедии» первого марта 2006 г. Это продемонстрировало возможность эффективного сбора и консолидации человеческого знания при помощи краудсорсинга в жанре «мудрость толпы». Исследователей краудсорсинга можно условно разделить на три временных периода, соответствующих теории диффузии инноваций Э. Роджерса [2]: «инноваторы» — конец 2000-х, «первопроходцы» — начало 2010-х, «раннее большинство» — середина 2010-х. На рис. 1 приведена классификация современных исследований краудсорсинга.

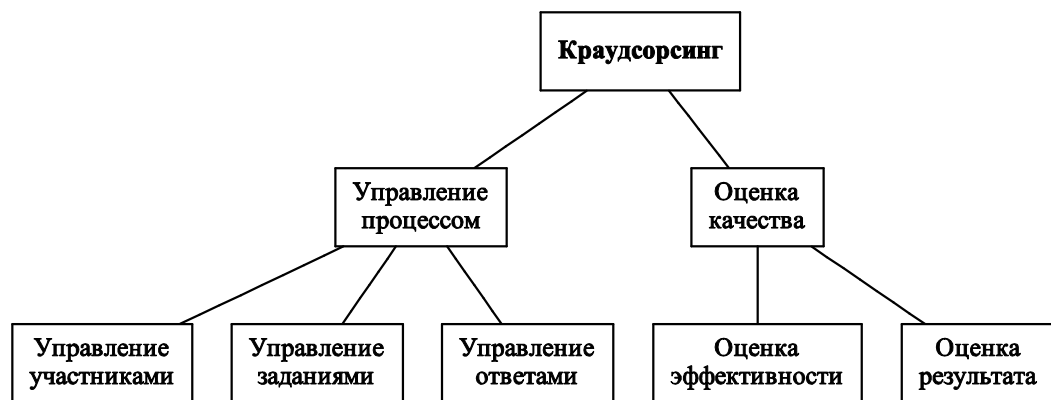


Рис. 1. Современные исследования краудсорсинга

Первоначальные исследования краудсорсинга в конце 2000-х годов были посвящены изучению его возможностей и ограничений с одной стороны, и попыток построить методы оценки качества созданных с его помощью ресурсов, с другой стороны. Исследователи пытались найти ответ на вопрос: «Работает ли краудсорсинг? Громко прозвучавшие истории успеха таких проектов, как «Википедия», Amazon Mechanical Turk (MTurk) и iStockphoto, дали положительный ответ на этот вопрос [1].

Ближе к концу 2000-х гг. на коммерческих биржах краудсорсинга возникла острая проблема спама — случайных или бессмысленных ответов, отправленных участниками в мошеннических целях. Участники таких бирж получают небольшие деньги за выполнение достаточно простых заданий, решение которых требует несколько минут. Количество полученных участниками денег напрямую зависит от количества выполненных заданий — это привело к тому, что в 2011 г. спамеры составляли 39 % пользователей платформы Amazon Mechanical Turk [3]. Исследования вопроса планирования процесса, проблем спама в краудсорсинге и доверия к неконтролируемой толпе участников были важной темой работ начала 2010-х годов с доминирующим вопросом: «Как сделать краудсорсинг надёжнее?»

С появлением различных способов оценки репутации участников и выявления спамеров, в 2010-х гг. возник закономерный интерес к повышению эффективности процесса краудсорсинга в самых разных смыслах этого слова. Большое внимание начало уделяться задачам генерации заданий по участникам, проблемам агрегации надежных и непротиворечивых ответов, вопросам кооперации, геймификации и общей доступности процесса [4]. Сегодня доминирующим является следующий вопрос: как сделать краудсорсинг дешевле?

В настоящее время краудсорсинг является важной научно-практической дисциплиной, которой посвящены отдельные конференции и семинары, например CSCW при поддержке Ассоциации вычислительной техники, HCOMP при поддержке Ассоциации развития искусственного интеллекта, GamifIR в рамках Европейской конференции по информационному поиску, и др.

Управление краудсорсингом

Исследования вопросов управления процессом краудсорсинга посвящены построению типовых схем краудсорсинга для решения распространенных практических задач.

Ранние работы в этой области относились преимущественно к задачам машинного зрения и разметки изображений при помощи тегов. Одной из первых и наиболее цитируемых работ является статья Л. вон Ана и Л. Дэббиш из Университета Карнеги-Меллон (США) об игрофицированном способе разметки изображений путем согласования одновременных ответов игроков [5].

В 2009 году, Дж. Уайтхилл и группа исследователей из Калифорнийского университета в Сан-Диего (США) представили модель *GLAD*, позволяющую объединить в единую систему такие параметры, как сложность назначенных заданий, квалификацию участников, и получаемые ответы [6].

В 2010 г., М. Бернштейн и группа исследователей из нескольких университетов США представили текстовый процессор *Soylent*, являющийся тесно интегрированной с платформой Amazon Mechanical Turk надстройкой над редактором Microsoft Word. *Soylent* позволяет прозрачным образом привлекать участников платформы с целью форматирования, перефразирования и доработки текста [7]. Важным результатом данной работы является подход *Find-Fix-Verify*, разделяющий задания с открытым вопросом на независимые части.

В 2012 г. Г. Демартини, Дж. Дифаллах и Ф. Кудре-Мару из Университета Фрибура (Швейцария) разработали модель *ZenCrowd* [8], изначально предназначенную для крупномасштабной разметки ссылок новостей при помощи краудсорсинга на MTurk. Модель предполагает автоматическую предварительную обработку данных и применяет вероятностную сеть для агрегации ответов участников.

Управление участниками

В начале 2010-х г. стало ясно, что далеко не все участники процесса краудсорсинга настроены на добросовестное выполнение работы. Возникли серьезные проблемы со спамом и просто неопытными участниками, вносящими ошибки в результаты. Основные направления исследований в области управления участниками в краудсорсинге — борьба с мошенничеством, обучение пользователей и оценка их компетентности.

П. Велиндер и П. Перона из Калифорнийского технологического института (США) предложили интерактивный метод оценки характеристик участников разметки на основе вероятностной модели [9]. Применение этого метода в задаче обнаружения границ изображений позволило снизить количество необходимых оценок для разметки и уменьшить долю допускаемых участниками ошибок.

Работа Х. Йу и соавторов из Наньянского технологического университета (Сингапур) и Китайской академии наук посвящена успешному рисованию изображения сто долларововой купюры при помощи краудсорсинга путём сбора множества

нарисованных фрагментов этой купюры [10]. В работе представлен метод ранжирования участников по уровню доверия.

Алгоритм *WorkerRank*, созданный М. Дальтаинни, Л. де Альфаро и П. Пападимитроу из Калифорнийского университета в Санта-Крузе и компании Elance-oDesk (США), позволяет одновременно оценить репутацию участников и относительную важность заданий с учётом заранее заявленных компетенций [11]. Представленный алгоритм предназначен для рекомендации исполнителей заданий в области информационных технологий и показывает лучший результат, чем методы коллаборативной фильтрации.

Управление заданиями

Исследователи-первопроходцы в области краудсорсинга уделяют большое внимание механизмам управления заданиями, связанными с их распределением и оценкой сложности выполнения. Несмотря на то, что в общем виде задача по перераспределению заданий по участникам является трудноразрешимой [12], с 2011 г. В этой области возник заметный и закономерный интерес.

С. Ли, С. Парк и С. Парк из Университета Соган (Южная Корея) создали метод динамического программирования, позволяющий выполнить распределение заданий по пользователям [13]. Эксперименты показывают, что учёт уровня квалификации участника и сложности задания позволяет повысить качество результата.

В том же году Д. Каргер, С. Ох и Д. Шах из Массачусетского технического института и Иллинойского университета в Урбане-Шампейне (США) предложили алгоритм вывода назначения заданий, оптимальный по порядку [14]. Важным выводом из этой работы является гипотеза о *фазовом переходе*, показывающая невозможность улучшить качество метода голосования большинства при низком количестве заявок на выполнение задания.

Алгоритмы *BudgetFix* и *Budgeteer*, разработанные Л. Тран-Тханом и соавторами из Саутгемптонского университета, позволяют выполнить назначение заданий при заданных ограничениях бюджета с гарантией выбранной аккуратности [15]. Данные методы работают эффективнее, чем популярный метод *Soylent* (см. [7]).

Управление ответами

Р. Сноу и ряд других известных исследователей из Стэнфордского университета в 2008 г. показали, что при построении лингвистических ресурсов для достижения качества краудсорсинга на уровне профессиональных лингвистов достаточно *четырёх* ответов на каждый вопрос [16]. При этом в работе предложена вероятностная модель, позволяющая снизить смещенность ответов, получаемых от участников.

Б. Ханрахан, Г. Конвертино и Л. Нельсон из Xerox PARC (США) провели исследование популярного вопрос-ответного сервиса по информационным технологиям *Stack Overflow* и предложили метод оценки сложности вопросов на основе

коэффициента корреляции Пирсона и метод оценки уровня квалификации участников на основе меры *Z-score* [17].

М. Йоглекар, Г. Гарсия-Молина и А. Парамесваран из Стэнфордского университета в том же году представили метод построения доверительного интервала для оценки доли ошибок участников процесса краудсорсинга [18]. Данный метод позволяет также построить доверительный интервал для аккуратности участников.

Оценка качества

Краудсорсинг позволяет выполнять относительно недорогую разметку различных данных, сравнимую по качеству с работой приглашенных экспертов. Это подтверждается исследованием Дж. Хира и М. Бостока из Стэнфордского университета, оценившим шестикратную разницу в стоимости в пользу краудсорсинга для задачи оценки изображений [19].

В 2011 г. Д. Олесон и коллеги из компании CrowdFlower представили метод для масштабируемого контроля качества краудсорсинга путём направленного предоставления обратной связи об ответах участников, что привело к сокращению ручной работы при управлении качеством результата [20].

Г. Зоу, А. Гил и М. Тхарайил из Даляньского технологического университета (Китай) и Исследовательского центра Xerox в Пало-Альто (США) в 2014 г. выполнили агентное моделирование поведения участников процесса краудсорсинга [21]. В работе предложена обученная модель на основе линейной регрессии и логнормального распределения, позволяющая оценить аккуратность выполнения задания участником.

Результаты и выводы

Табл. 1, составленная на основе проведенного обзора, иллюстрирует направления для дальнейших исследований. В целях экономии места, используются следующие обозначения областей исследований: УП — управление процессом, УУ — участниками, УЗ — заданиями, УО — ответами, ОК — оценка качества.

Таблица 1

Некоторые проблемы краудсорсинга

№	Область	Проблема	Ссылки
1	УП	Отсутствие открытого программного обеспечения для управления процессом.	[7, 15]
2	УУ	Оценка квалификации участника по классу заданий.	[11, 21]
3	УЗ	Интерактивная генерация графа назначения заданий.	[14, 15]
4	УО	Оценка сложности заданий на основе ответов участников.	[13, 17]
5	УП+ОК	Назначение заданий участникам с учетом сложности, квалификации, бюджета.	[11, 14, 15, 17]

Заключение

В данной работе проведен обзор исследований краудсорсинга как научно-практической дисциплины. Выделены направления исследований и сформулированы некоторые актуальные проблемы в рамках этих направлений.

Благодарность

Работа поддержана грантом РГНФ № 13-04-12020 «Новый открытый электронный тезаурус русского языка».

Литература

1. *Estellés-Arolas E., González-Ladrón-de Guevara F.* Towards an integrated crowdsourcing definition // *Journal of Information Science*. 2012. Vol. 38. No. 2. P. 189–200.
2. *Rogers E.* Diffusion of innovations. 4th edition. Simon and Schuster, 2010. 518 pp.
3. *Vuurens J. B. P., de Vries A. P., Eickhoff C.* How Much Spam Can You Take? An Analysis of Crowdsourcing Results to Increase Accuracy // *Proc. ACM SIGIR Workshop on Crowdsourcing for Information Retrieval (CIR'11)*. 2011. Pp. 21–26.
4. *Ustalov D.* Towards Crowdsourcing and Cooperation in Linguistic Resources // *Proceedings of RuSSIR 2014 and the associated Young Scientist Conference* / Ed. by P. Braslavskiy et al. 2014. Communications in Computer and Information Science.
5. *Von Ahn L., Dabbish L.* Labeling Images with a Computer Game // *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '04*. New York, NY, USA: ACM, 2004. Pp. 319–326.
6. *Whitehill J., Ruvolo P., Wu T. et al.* Whose Vote Should Count More: Optimal Integration of Labels from Labelers of Unknown Expertise // *Advances in Neural Information Processing Systems 22*. Curran Associates, Inc., 2009. Pp. 2035–2043.
7. *Bernstein M. S., Little G., Miller R. C. et al.* Soylent: A Word Processor with a Crowd Inside // *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '10*. New York, NY, USA: ACM, 2010. Pp. 313–322.
8. *Demartini G., Difallah D. E., Cudré-Mauroux P.* ZenCrowd: Leveraging Probabilistic Reasoning and Crowdsourcing Techniques for Large-Scale Entity Linking // *Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web. WWW '12*. New York, NY, USA: ACM, 2012. Pp. 469–478.
9. *Welinder P., Perona P.* Online Crowdsourcing: Rating Annotators and Obtaining Cost-Effective Labels // *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. 2010. Pp. 25–32.
10. *Yu H., Shen Z., Miao C., An B.* Challenges and Opportunities for Trust Management in Crowdsourcing // *Proceedings of the The 2012 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology — Volume 02. WI-IAT '12*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2012. Pp. 486–493.
11. *Daltayanni M., de Alfaro L., Papadimitriou P.* WorkerRank: Using Employer Implicit Judgements to Infer Worker Reputation // *Proceedings of the Eighth ACM International Conference on Web Search and Data Mining. WSDM '15*. New York, NY, USA: ACM, 2015. Pp. 263–272.
12. *Gujar S., Narahari Y.* Redistribution Mechanisms for Assignment of Heterogeneous Objects // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2011. Vol. 41. Pp. 131–154.

13. Lee S., Park S., Park S. A Quality Enhancement of Crowdsourcing based on Quality Evaluation and User-Level Task Assignment Framework // 2014 International Conference on Big Data and Smart Computing (BIGCOMP). IEEE, 2014. Pp. 60–65.
14. Karger D. R., Oh S., Shah D. Budget-Optimal Task Allocation for Reliable Crowdsourcing Systems // Operations Research. 2014. Vol. 62, no. 1. Pp. 1–24.
15. Tran-Thanh L., Huynh T. D., Rosenfeld A. et al. Crowdsourcing Complex Workflows under Budget Constraints // Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-15). AAAI Press, 2015.
16. Snow R., O'Connor B., Jurafsky D., Ng A. Y. Cheap and Fast—but is It Good?: Evaluating Non-expert Annotations for Natural Language Tasks // Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. EMNLP '08. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2008. Pp. 254–263.
17. Hanrahan B. V., Convertino G., Nelson L. Modeling Problem Difficulty and Expertise in StackOverflow // Proceedings of the ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work Companion. CSCW '12. New York, NY, USA: ACM, 2012. Pp. 91–94.
18. Joglekar M., Garcia-Molina H., Parameswaran A. Evaluating the Crowd with Confidence // Proceedings of the 19th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. KDD '13. New York, NY, USA: ACM, 2013. Pp. 686–694.
19. Heer J., Bostock M. Crowdsourcing Graphical Perception: Using Mechanical Turk to Assess Visualization Design // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '10. New York, NY, USA: ACM, 2010. Pp. 203–212.
20. Oleson D., Sorokin A., Laughlin G. P. et al. Programmatic Gold: Targeted and Scalable Quality Assurance in Crowdsourcing // Human Computation: Papers from the 2011 AAAI Workshop (WS-11-11). 2011. Pp. 43–48.
21. Zou G., Gil A., Tharayil M. An Agent-based Model for Crowdsourcing Systems // Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. WSC '14. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2014. Pp. 407–418.

РАЗДЕЛ 3

СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

О. В. Аверкова, А. А. Хромых

КАКАЯ ОНА, ЭТА РУССКАЯ ЖЕНЩИНА, КОТОРАЯ БАБОЙ В НАРОДЕ ЗОВЕТСЯ (ПО ДАННЫМ СВОБОДНОГО АССОЦИАТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)?

В статье рассматриваются данные свободного ассоциативного эксперимента на слово-стимул «баба». Делается попытка классифицировать реакции, прямо или косвенно связанные со значением «женщина», по тематическим группам. Даются пояснения в спорных случаях, вызванных многозначностью слова-реакции, а также поясняются принципы разграничения похожих друг на друга групп реакций. В заключении делается попытка собрать все реакции воедино и изобразить женщину, которую называют бабой.

Ключевые слова: ассоциативный эксперимент, слово-стимул, реакция, парадигматические ассоциации, синтагматические ассоциации, отношения субординации, отношения координации, отношения суперординации

The article considers the data of free association experiment researching the word “baba”. An attempt to classify reactions connected with the meaning “woman” on the basis of theme unity is presented. Disputable issues are explained. In conclusion the authors combine all the reactions and re-create the image of a woman called “baba”.

Keywords: association experiment, stimulus word, response, paradigmatic associations, syntagmatic associations, subordination relations, coordination relations, superordination relations.

Ассоциативный эксперимент — один из ведущих методов проведения исследований в различных областях лингвистики. Татьяна Витальевна Попова в работе «Ассоциативный эксперимент в психологии» отмечает: «В XX в. ассоциативный эксперимент получил широкое распространение в качестве метода исследования индивидуального и группового сознания человека. Автоматический характер ассоциаций, слабая способность человека управлять ими, сопряженность ассоциативного процесса с рядом физиологических реакций человека обусловили эффективность использования ассоциативного эксперимента в самых разных областях психологии и смежных наук... Сформировалось значительное количество разновидностей ассоциативного эксперимента, создано немало типологий ассоциаций, позволяющих получить достаточно точные и конкретные результаты».

Изучение ассоциаций происходит еще со времен Аристотеля, который выделял ассоциации по сходству (анalogии), по смежности (одновременности) в пространстве и времени, по контрасту.

Л. В. Сахарный привел другую классификацию, которая подразделяет все ассоциации на парадигматические (связанные со словом-стимулом некоторой семантической связью) и синтагматические (при которых реакция является словом,

которое может синтаксически следовать за стимулом в предложении или фразе) (см. «Оксфордский толковый словарь по психологии» А. Ребера). В парадигматических ассоциациях стимул и реакция могут быть связаны отношениями координации (если она на одном уровне абстракции), субординации (от рода к виду) и суперординации (от вида к роду). В синтагматических ассоциациях часто встречаются такие пары (стимул — реакция), как существительное — глагол, существительное — прилагательное и некоторые другие.

В. П. Белянин выделяет следующие типы ассоциативного эксперимента:

1. Свободный ассоциативный эксперимент (испытуемым не ставится никаких ограничений на реакции).
2. Направленный ассоциативный эксперимент (испытуемым предлагается давать ассоциации определенного грамматического и семантического класса).
3. Цепочечный ассоциативный эксперимент (испытуемым предлагается реагировать на стимул несколькими ассоциациями).

При изучении актуальных для современных носителей русского языка значений слова «баба» мы провели свободный ассоциативный эксперимент, в котором участвовали 360 человек, из них 165 женщин (46 %) и 195 мужчин (54 %). Возраст участников ранжировался от 15 до 79 лет. Средний возраст — 15...25 лет.

Почему же мы остановились на изучении слова «баба»? В современном обществе растет интерес к данному существительному, что подтверждается как высокой частотой его употребления в интернет-ресурсах (29.10.2013 на запрос БАБА Google дал более 19,5 млн. ответов), так и увеличением числа научных работ, исследующих этот и смежные субстантивы (см. работы Т. А. Агапкиной, Л. В. Адониной, А. В. Беловой, М. М. Валенцовой, С. Вершинина). Помимо этого слово «баба» встречается во многих языках. Рассматриваемое слово имеет около 80 значений и формирует около 55 фразеологических единиц. Значение «женщина» приобретает актуальность в период феминизации общества, а значение «бабушка» — в век, когда происходит утрата семейных ценностей и имеет место ньюклеризация семьи.

Проанализировав четыре словаря ассоциаций («Словарь ассоциативных норм русского языка» под ред. А. А. Леонтьева, «Русский ассоциативный словарь» под ред. Ю. Н. Караулова, «Славянский ассоциативный словарь», Русскую региональную БД), мы выяснили, что слово «баба» как стимул встречается лишь во втором из них и имеет 104 реакции (ср. «бабушка» — 500 реакций).

По результатам эксперимента, наиболее частотными реакциями оказались «женщина/ женский пол» (144 у мужчин / 129 у женщин (далее с левой стороны указывается число реакций у мужчин, с правой — у женщин)); «бабушка» — 84 / 75; «снежная баба / снеговик / скульптура из снега» — 47 / 48.

В рамках данной статьи мы ограничимся лишь реакциями, прямо или косвенно связанными с наиболее частотным значением «женщина». Эти реакции мы классифицировали следующим образом:

Внешность:

1. Размер: *большая женщина, бомба, борзуха, высокая, гора, дородная, здоровячка, колобок, корова, плотная мощная женщина без фигуры, полная, с крупным телосложением, с огромной задницей, толстая.*
2. Здоровье: *здоровячка, краснощекая, крепкая, румяная.*
3. Одежда: *в платке, в платье с передником и засученными рукавами, в телогрейке, ярко и вычурно одетая.*
4. Части тела: *блондинка (указание на цвет волос), сиськи.*
5. Красота: *красота, необязательно красива, с неприятной внешностью, плохо выглядит.*

Положение в семье и обществе:

1. Семья: *бабушка, глава рода, жена, мать семейства, опекун, продолжение рода, свекровь, хозяйка, хранительница очага, girlfriend (моя баба).*
2. Общество: *домохозяйка, доярка, колхозница, кухарка, повар, поломойка, поэт, проститутка, стоматолог, торговка, учитель, халда, торгующая семечками.*

Образ жизни:

1. Деревенский тихий образ жизни: *деревенщина (живет в деревне), из глуши, наследка.*
2. Образ жизни, свойственный определенному социальному классу: *удалая казачка.*
3. Образ жизни, соотнесенный с работой: *заработавшаяся женщина.*
4. Образ жизни, пагубный для морального облика человека: *девушка легкого поведения, ведущая развязный, клубный образ жизни, паразит, проститутка, с плохими привычками, шлюха, пьющая, курящая, вульгарно ведущая.*

Характеристики отрицательные:

1. Характер и его проявление: *вредная, неопрятная, неряшливая, нехозяйственная, цинична.*
2. Образованность и воспитанность: *деревенщина (необразованная), невоспитанная, неграмотная.*
3. Речь: *выражающаяся преобладающе матом или на жаргоне, просторечии, необученная культуре речи, с провинциальным говором, с громким неприятным голосом.*

Характеристики положительные:

1. Сила характера: *бой-баба, мужественная, сильная личность, сильная, смелая, с суровым русским характером, отважная.*
2. Отношение к другим: *верная, верность, добрая, любящая, нежная, независимость, порядочная, простой человек, ответственный человек, самодостаточность, сердитая, улыбчивая, широкая душа.*

3. Другие характеристики: *женственная, умелая, уравновешенная, чистоплотная, экстравагантная.*

Тип поведения:

1. Отношение к другим: *грубость, гром, спрыгивает с телеги (баба = обуза), хамка.*
2. Особенности общения: *базарная баба, болтуня, орет, сварливое невежественное создание, сплетница, шумная.*
3. Функции: *все берет на себя, готовить, стирать, убирать.*
4. Смелость и власть: *баба-мужик, бойкая, в горящую избу войдет, коня на скаку остановит, кулак, пробивная; плакса, трусиха.*
5. Греховность: *запретный плод откусила, пьющая, курящая, вульгарно себя ведущая.*
6. Суетливость: *нетерпеливость, суетится, истерит, носится.*
7. Отношение к материальным ценностям: *экономная.*

Атрибут / место:

1. Еда и напитки: *борщ, колобок, пироги; вода, пиво.*
2. Подарки: *машина, платье, сапоги, шуба, цветы.*
3. Атрибуты труда: *бидоны, конь, коромысло, печь, с авоськами, самовар, с ведрами.*

Положительная и отрицательная оценка:

1. Положительная оценка: *барыня, барышня, бомба (сексуально привлекательная женщина), дама, классная, леди, любимая, мадмуазель, малышка, умница, чика.*
2. Отрицательная оценка: *бомба (непривлекательная женщина больших размеров), вумен, глупая, кошелка, курица не птица, баба не человек, никчемное существо, овца, противная, стерва, сука, сучка, тварь, телка, телочка, хабалка, цыпа.*

Национальность / страна:

русская, СССР.

Возраст:

девочка, девушка, девушка в возрасте, зрелая, средних лет (от 30 до 50), лет 50-ти, женщина после 50-ти, женщина почтенного возраста, старая, старуха, совсем бабушка.

Имя собственное:

Валя, Люба, Мордюкова.

Необходимо обратить внимание на то, что реакции настолько тесно переплетены между собой и многозначны, что одну реакцию можно отнести к разным группам. Так, например, реакция «бомба» может быть отнесена как к внешним характеристикам женщины (в значении «крупная»), так и к положительной оценке женщины (в значении «сексуально привлекательная женщина»).

Реакция «колобок» также требует детализации значения. Если речь идет о круглой фигуре человека низкого роста, то данная реакция может быть рассмотрена в качестве характеристики внешности женщины. Если рассматривать понятие «колобок» как неодушевленный предмет, изготовленный из теста, то его можно отнести к атрибутам (еда). Существует и третий вариант интерпретации реакции: сын бабы и деда в сказке. В данном случае нам следовало бы отнести данную реакцию к группе «положение в семье».

Есть в нашей классификации группы, похожие друг на друга, поэтому требующие объяснений. Группа «характеристики (речь)» тесно связана с группой «тип поведения (общение)». Если в первой группе рассматриваются языковые характеристики речи, то вторая группа отражает ее (речи) психологическое восприятие.

Еще одной парой являются группы «характеристики (отношение к другим)» и «тип поведения (отношение к другим)». В первой группе мы рассматриваем признаки рассматриваемого лица, а во второй — его действия. Интересно заметить, что подобное деление дало следующие результаты: когда речь идет о характеристиках, чаще встречаются реакции с положительным значением; когда же речь идет о поведении — с отрицательным (т. е. сама по себе женщина по своей природной сущности неплохая, но ведет себя она часто в разрез с этой доброй сущностью).

По такому же принципу следует различать группы «характеристики (сила характера)» и «тип поведения (сила и власть)». Необходимо отметить, что во второй группе встречаются противоположные характеристики, например: *в горящую избу войдет, коня на скаку остановит и трусиха*.

Еще одной парой выступают группы «образ жизни, пагубный для морального облика человека» и «тип поведения (греховность)». Первая рассматривает оценку женщины обществом, вторая — религией.

В группу «положительная и отрицательная оценка» мы внесли лишь синонимы к слову «баба» (в значении «женщина»), а не все реакции, имеющие какую-либо коннотацию, иначе можно было бы создать новую классификацию, основанную лишь на разграничении стилистической окраски.

Подводя итоги нашему исследованию, мы можем сказать, что самой большой группой реакций оказалась группа «характеристики женщины» (37 реакций), за ней следуют «тип поведения» (30), «внешность» (25), «атрибут / место» (24), «положение в семье и обществе» (22), «положительная и отрицательная оценка» (21), «образ жизни» (15), «имя собственное» (3), «национальность / страна» (2).

Таким образом, собрав все реакции воедино, мы можем представить следующее изображение бабы: некрасивая, большая, пышущая здоровьем женщина со светлыми волосами, в платье, платке и телогрейке, которая посвящает себя семье и работе по домашнему хозяйству. В связи с загруженностью решением бытовых вопросов у нее не хватает времени на получение образования, что проявляется как в поведении, так и в речи. Привыкшая справляться со всеми тяготами жизни, она приобретает сильный характер и умудряется при этом не потерять своей данной

природой сущности, выражающейся в любви к ближнему. Бабе порой сложно устоять перед соблазнами современного общества, которые изначально были свойственны мужскому населению. Но если мужчинам порой прощается блуд, алкоголизм и другие зависимости, то женщине, несущей функцию продолжения рода, это не сходит с рук. Понятие «баба» в современном сознании идет в разрез с понятием «баба», зафиксированном в словарях, т. к. не имеет возрастных ограничений. Современный носитель русского языка называет бабой женщину от состояния «девочка» вплоть до состояния «совсем бабушка». И, конечно, нельзя забывать, что слово «баба» в паре со словом «мужик» является реалией славянской культуры (участники эксперимента сужают до реалии русской культуры).

Литература

1. Ассоциация. URL: www.wiki.myword.ru/index.php/Ассоциация.
2. Белянин В. П. Психоллингвистика: учеб. М., 1999. 60 с.
3. Караулов Ю. Н. Русский ассоциативный словарь. М., 2002.
4. Кузнецов С. А. Большой толковый словарь русского языка. СПб.: Норинт, 2000. URL: www.alleng.ru/d/rusl56/htm.
5. Леонтьев А. А. Словарь ассоциативных норм русского языка. М., 1977. 94 с.
6. Молодежный образовательный сайт Мурманского региона «Folks». URL: www.folks.ru/mystery.php?art=177.
7. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. URL: www.ozhegov.org.
8. Ребер А. Оксфордский толковый словарь по психологии. 2002. URL: www.vocabulary.ru/dictionary/487/word/asociacija-paradigmaticheskaya-sintagmaticheskaya.
9. Сахарный Л. В. Введение в психоллингвистику: курс лекций. Л., 1989. 93 с.

Ю. Г. Ахметова, А. Ю. Степанова

РОЛЬ И МЕСТО ПРОФСОЮЗНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Данная статья посвящена исследованию эффективности профсоюзных организаций в области охраны труда на предприятии атомной промышленности. В статье затрагиваются некоторые теоретические аспекты новой превентивной системы — системы управления профессиональными рисками, а также рассматривается ее внедрение на предприятии и роль и место профсоюзных организаций на различных ее этапах (планирование, внедрение, управление, контроль).

Ключевые слова: профсоюзные организации, профсоюзы, охрана труда, профессиональный риск, управление профессиональными рисками, система управления профессиональными рисками.

This article is devoted to research of the effectiveness of trade union organizations in the field of professional safety in the nuclear industry. This article involves some theoretical aspects of the new preventive system — management of professional risks. Also it considers introduction new system in the enterprise and the place and role of trade union organizations at various stages of professional risk management system (planning, implementation, management and control).

Keywords: trade union organizations, trade unions, labor, professional risk, professional risk management, professional risk management system.

На сегодняшний день проблема системы управления охраной труда является актуальной. В существующей системе акцент делается скорее на компенсационных мероприятиях по возмещению вреда пострадавшим, а не на обеспечении профилактических и защитных мер. Между тем данная ситуация наносит весомый ущерб демографическому положению в стране в целом.

Так, на заседании Экспертного клуба Федеральной службы по труду и занятости были названы следующие цифры: с января по сентябрь 2013 года произошло больше 6,3 тыс. несчастных случаев на производстве, из которых 1882 закончились гибелью людей [1]. В таких условиях система управления охраной труда должна базироваться на принципиально ином подходе: минимизации воздействий неблагоприятных производственных факторов на здоровье работников. В связи с этим появляется новая система — система управления профессиональными рисками, которая включает в себя меры по выявлению, оценке и снижению уровня профессиональных рисков.

Как показывает практика, наиболее эффективное внедрение данной системы проходит при участии профсоюзных организаций, т. к. их непосредственной

задачей является защита прав и интересов трудящихся. Им отводится активная роль в оценке профессиональных рисков и мерах по их снижению, поэтому очень многое зависит от эффективной деятельности института профсоюзов.

Но, с другой стороны, как показывают данные ВЦИОМ [2] и различных исследований, все более снижается уровень доверия сотрудников к профсоюзам. Так, только 13 % самих работников считают, что за соблюдением их прав на предприятии следит профсоюз, а около половины работающих респондентов (45 %) не видят реальных действий по защите своих прав в компаниях. В случае возникновения проблем на работе к помощи профсоюзных организаций для защиты своих прав прибегали лишь 6 %.

Данные факторы делают тему особенно важной, т. к. очевидно противоречие между большим потенциалом влияния на социальные процессы у профсоюзов и их слабостью, снижающимся доверием со стороны работников и недостаточной действенностью в существующих социально-экономических условиях России.

Обращаясь к понятию и самой системе управления профессиональными рисками, следует сказать, она еще недостаточно устоялась как в научной среде, так и в области законодательства. Однако уже существует множество методик определения профессиональных рисков, основной чертой которых является этапность и последовательность. С одной стороны, отсутствие четкой и единой системы, с другой стороны, реальная ситуация в организациях говорят об актуальности данной проблемы. Все это, безусловно, затрудняет нормальное функционирование предприятий.

Теоретически и по опыту зарубежных стран институт профсоюзов должен активно формировать данную систему, т. к. он обладает рядом значимых для этого ресурсов. Профсоюзным организациям отводится активная роль в оценке профессиональных рисков и мерах по их снижению. Это проявляется в информационном просвещении персонала и в общественном контроле.

Информационное просвещение будет повышать грамотность сотрудников в области охраны труда и, как следствие, мотивировать их на активное участие в создании безопасных условий труда. Профсоюз же при его деятельном участии в системе контроля и надзора сможет создать основу для совершенствования и ответственности системы управления профессиональными рисками. Но не стоит забывать и о другой тревожной тенденции: все более снижается уровень доверия сотрудников к профсоюзам и их действенности.

В 2014 году было проведено исследование на одном из предприятий атомной промышленности Свердловской области по проблеме эффективности деятельности профсоюзных организаций в системе управления профессиональными рисками. В качестве метода исследования было использовано формализованное интервью с открытыми вопросами, в котором затрагивались темы, связанные с системой управления профессиональными рисками, деятельностью профсоюзов в области планирования, внедрения, управления и контроля данной системы.

Первый блок вопросов был связан с пониманием респондентами системы управления профессиональными рисками. Данное понятие раскрывается ими как некая концепция в сфере охраны труда, связанная с оценкой профессиональных рисков и классами условий труда. В обозначенную систему входят различные мероприятия в области обеспечения безопасных условий труда, которые формируются согласно общему плану предприятия. В эти мероприятия входят медицинские осмотры, добровольное страхование, выплата гарантий за особо вредные условия труда и лечебно-профилактическое питание.

Следующие блоки вопросов были связаны непосредственно с деятельностью профсоюзных организаций.

На этапе планирования респондентами оценивались такие показатели, как участие профсоюзов в сборе данных о результатах условий труда, производственном травматизме, профессиональных заболеваниях и медицинских осмотрах и др. Участие и эффективность профсоюзов на данном этапе оценивается скорее негативно (57 %), чем позитивно (14 %), почти 28 % опрошиваемых остаются безразличны.

Все респонденты упоминают о том, что все рабочие места обязательно паспортизируются на вредность, так же, как и обязательны в этих случаях медицинские осмотры. Данные собираются специальным подразделением без участия профсоюзов, т. е. данная функция всецело закрепляется за работодателем. Впоследствии на общем заседании при участии профсоюзных организаций и высшего руководства решаются вопросы по снижению выявленных рисков и опасностей. В данном случае профсоюзы определяют только путевки в лечебно-санаторные организации. Однако и эта деятельность не вызывает положительного отклика у сотрудников, поскольку эти мероприятия случаются довольно редко.

Этап внедрения включал подготовку профсоюзами обучающих материалов (брошюры, инструкции и т. д.) для персонала в области безопасности и охраны труда и осуществление консультирования работников в вопросах охраны труда и др.

В вышеупомянутой области системы управления профессиональными рисками профсоюзы проводят деятельность по обучению персонала, так ответили все респонденты. Среди форм, которые принимает данная деятельность, отметили листовки, информацию на стендах, плакаты, выступления на местном радио и организацию мероприятий, на которых профсоюзы доводят сведения о проведенных мониторингах до работников.

На взгляд большинства респондентов (85 %), вышеупомянутые действия недостаточно эффективны, хотя и не во всех случаях. Например, профсоюзы помогают с осуществлением компенсаций, льгот и гарантий в случаях, не подходящих под общие основания. В компетентность профсоюзов входит также консультирование сотрудников по вопросам безопасности и управления профессиональными рисками. Однако часть этих функций отдана специальным отделам — юридическому и социальной защиты. Респонденты отмечают, что, безусловно, к профсоюзу можно

обратиться с возникшими проблемами в области защиты своих прав по части охраны труда.

Этап управления оценивался в вопросе осуществления своих функций профсоюзами в процедуре специальной оценки условий труда. Относительно систем непосредственного управления рисками на предприятии существует ряд предупредительных мер в сфере медосмотров и оценки рабочих мест. Данные процедуры закреплены как в общем законодательстве РФ, так и в локальных актах предприятия.

Респонденты затруднялись ответить на вопрос о процедуре специальной оценки труда, однако в целом склонялись к мнению, что она все же имеет место быть (т. к. «в последние два года из-за изменения классов труда весомо снизилось количество получаемых льгот»). Данная процедура основывается на общепринятых стандартах, в ней принимают участие специальные люди, являющиеся профессионалами в этой области, с использованием средств объективного контроля. Здесь профсоюзам отводится роль контроля, однако эффективность этой деятельности сложно оценить, т. к. на предприятии все инструкции и стандарты выполняются в должном виде.

Этап контроля включал осуществление мониторинга условий труда, несчастных случаев и ухудшения здоровья работников, несоответствий в области обеспечения безопасных условий труда, программ реабилитации работников и финансовых затрат, связанных с ущербом для здоровья работника и др. Почти 71 % респондентов отметили, что профсоюзы играют значительную роль в области контроля, т. к. они осуществляют мониторинг по всем вышеупомянутым вопросам. Профсоюзы отчитываются за свою деятельность перед работодателем и работниками. Здесь опрошиваемые единодушны во мнении.

Итак, согласно результатам исследования, эффективность профсоюзов в системе управления профессиональными рисками в целом сотрудники оценивают скорее положительно, чем отрицательно. Однако, углубляясь в детали данной системы на разных ее этапах (планирование, внедрение, управление, контроль), профсоюзы скорее показывают свою слабую действенность.

В процессе анализа исследователем были выдвинуты возможные причины сложившейся ситуации. На момент исследования на предприятии проводился процесс реструктуризации, в результате чего изменились условия функционирования профсоюзных организаций. Поэтому часть их полномочий сузилась, а часть функций в данной системе возложено на само предприятие. В связи с этим падает уровень доверия профсоюзам со стороны персонала и, как следствие, снижается членство и падает их эффективность.

Это также подтверждается и общероссийскими исследованиями. Россия занимает среди европейских стран 13-е место из 24 возможных по уровню участия в деятельности профсоюзов: в них формально состоят 19 %, работают вдвое меньше. Хотя в прошлом 26 % граждан имели опыт профсоюзной работы [3].

Для получения более полной картины планируется провести ряд подобных исследований на других предприятиях в данной области.

Литература

1. Федеральная служба по труду и занятости [Офиц. сайт]. URL: <http://www.rostrud.ru/>. (Дата обращения: 01.12.14).
2. Всероссийский центр изучения общественного мнения, еженедельный опрос «Омнибус ВЦИОМ», пресс-выпуск № 2738, 2014 год [Электронный ресурс]. URL: <http://wciom.ru/>. (Дата обращения: 01.12.14).
3. *Добрынина Е.* Кампания за компанию // Российская газета. 2014, № 6476 от 9 сентября.

В. Ван, Н. А. Гоголина

ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕРМИНОВ РОДСТВА ПО ДАННЫМ РЕЧИ

Понятийно-содержательные признаки концепта «семья» можно выявить на основе анализа дефиниций существительных группы «лица по родству» в словарях, анализа ассоциатов, которые получены из эксперимента, и на основе анализа русских и китайских паремий с названиями лиц по родству. Мы рассматриваем самые важные названия по родству, например, мать/мама, отец/папа и т. д. Затем мы сравниваем результаты, полученные из эксперимента, и результаты из паремий, чтобы выявить образ динамики семьи.

Ключевые слова: *семья, существительные по родству, русские паремии, китайские паремии.*

Conceptual and substantial signs of the concept «family» can be found out through the analysis of noun groups of kinship in dictionaries, as well in reliance on associative visual signs, which were given from experiments and analyses of parables with names of kinship. We have analyzed sayings with prior nouns, like “mother/mama”, “father/nana” and so on, and carried out a comparison of the results of the experiment and analysis of Proverbs to reveal the dynamics of family.

Keywords: *family, noun about kinship, russian phrase, chinese phrase.*

Анализ существительных группы «семья», употребляющихся в русских и китайских паремиях с названиями лиц по родству, имеет лингвокультурологическую направленность, под которой мы понимаем отрасль лингвистики, возникшей на стыке лингвистики и культурологии и исследующей проявления культуры народа, которые отразились и закрепились в языке[1, 2].

Понятийно-содержательные признаки концепта «семья» можно выявить на основе анализа дефиниций существительных группы «лица по родству» в словарях. Группа существительных, обозначающих родственников, является частью семантического поля «межличностные отношения». В основу объединения данных существительных положен семантический признак «родственные связи и отношения». Это достаточно многочисленная группа слов.

Состав группы существительных, обозначающих членов семьи, родственников довольно большой. Она объединяет как однословные наименования, так и словосочетания, например: мать, отец, двоюродный брат, старшая сестра и пр. В состав группы вошло 165 единиц в русском языке и 152 в китайском.

Ядром данной группы в русском языке выступают нейтральные слова и словосочетания: отец, мать, бабушка, двоюродный брат, крестная дочь и т. д. Нами был проведен анализ внутрисловных семантических парадигм некоторых

существительных: отец, мать и муж-жена. Данный анализ производился по толковым (русскому и китайскому) словарям.

Начнем с существительных «отец» — «父亲 (фу цинь)», «мать» — «母亲 (му цинь)». Как в русском, так и в китайском языках существует другое наименование данных членов семьи: «мама» — «妈妈 (ма ма)», «папа» — «爸爸 (ба ба)», которое используется в обычном семейном общении. Слова «мать», «отец» многозначны. Слова «мама», «папа» — однозначны. «Мать» и в том и в другом языках имеет следующее основное значение: «женщина по отношению к своим детям». В русском языке слово «мать» может обозначать: «источник, начало чего-нибудь, а также то, что дорого, близко каждому», чего нет в китайском. Кроме того слово «мать» может употребляться в следующих составных наименованиях: «мать-одиночка», «крестная мать» (восприемница от купели при крещении ребенка, женщина по отношению к крестнику), «молочная мать» (кормилица), «посаженная мать» (заменяет родную мать жениха или невесты в народном свадебном обряде), «богоданная мать» (теща зятю или свекровь невестке).

Есть другие уважительные обращения к отцу в китайском языке, как «令尊» (лин цзунь), «家父» (цзя фу). «令尊» (лин цзунь) употребляется в таком случае, когда другие отмечают в разговоре с тобой твоего отца. «家父» (цзя фу) употребляется в ситуации, когда ты отмечаешь своего отца в разговоре с другими.

В толковом словаре русского языка (С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова) даются следующие значения слова «муж»:

- (мн. мужья, мужей, мужьям) мужчина по отношению к женщине, с которой он состоит в официальном браке (к своей жене)
- (мн. мужи, -ей, -ем) мужчина в зрелом возрасте (устар.), а также деятель на каком-нибудь общественном поприще (высок.).

Слово «муж» в китайском языке имеет другие наименования, которые употребляются в обычном семейном общении или употреблялись в Древнем Китае. Это «相公» (сян гун) и «官人» (гуань жэнь) (в древнем Китае) и т. д.

В китайском языке «жена» имеет только значение «женщина по отношению к мужчине, с которым она состоит в официальном браке», его второго значения в китайском нет.

Итак, анализ словарных дефиниций ряда существительных анализируемой группы показал, что при наличии сходных лексико-семантических вариантов их внутрисловные парадигмы различаются. Так, в русском языке существительные имеют много стилистически маркированных значений (устар., разг., прост., высок.). Кроме того слова «отец», «мать» употребляются в религиозных обрядах, ритуалах. В китайском языке существительные, обозначающие мужчин, имеют значения, выражающие разные формы обращений, а также варианты в зависимости от старшинства тех или иных членов семьи.

Чтобы выявить культурные компоненты, нами был проведен эксперимент. Для этого был составлен список существительных, в который мы включили наименования ближайших родственников. Мы останавливаемся только на результатах существительных: «отец», «мать», которые, в то же время, с точки зрения супружеских отношений являются «муж» и «жена»

В китайской культуре мать — это символ любви к семье и детям. Мать посвящает всю свою жизнь семье. А отец находится на вершине семейной иерархии. Он сдержан и строг с детьми, чтобы сохранить перед ними главенство. Так, на стимул мать/мама даны ассоциации 美丽 (красивая, 17 чел.), 和蔼可亲 (приветливая, 15 чел.), 勤劳 (трудолюбивая, 14 чел.), 温柔 (ласковая, 14 чел.), 善良 (добрая, 12 чел.), 爱 (любовь, 14 чел.), 伟大 (великая, 9 чел.), 坚强 (сильная, 8 чел.).

Это самые частотные ассоциации на стимул «мать/мама». Не смотря на то, что мы не требовали определенной части речи от респондентов, большинство их прибегало, в первую очередь, к прилагательным. Некоторые респонденты давали также существительные, обозначающие предметы или явления, к которым относятся слова «祖国» (отечество), «山» (гора), «水» (река) и т. п. Безусловно, эти ассоциации не общие и зависят от личного опыта, они, в некоторой степени, представляют собой образ матери в китайской культуре.

На стимул «мать/мама» русские респонденты дают такие ассоциации, (включающие слова единого семантического поля), к которым относятся любовь (любимая/любящая, 19 чел.), забота (заботливая/внимательность, 18 чел.), тепло (теплая, 17 чел.), дом (семья, 13 чел.), понимание (10 чел.), мягкость (нежность/ласковая, 9 чел.), добрая (7 чел.).

Сравнивая ассоциации носителей двух языков, мы обнаруживаем совпадения ответов — ласковая, добрая, любовь. Среди ответов русских респондентов самые частотные — любовь (любящая/любимая), забота (заботливая/внимательность) и тепло (теплая), а в опросниках на китайском языке — красивая, приветливая и трудолюбивая. Кроме того, русские дают больше одинаковых ответов. Относительно частотные для носителей китайского языка ответы «великая» и «сильная» ни разу не возникали в опросниках на русском языке.

А на стимул отец/папа даны следующие ассоциации: 严厉 (строгий, 16 чел.), 高大 (высокий, 14 чел.), 爱 (любовь, 11 чел.), 伟大 (великий, 10 чел.), 威严 (властный/авторитетный, 10 чел.), 山岳 (гора, 10 чел.), 辛勤 (трудолюбивый, 10 чел.). Конечно, большинство подобных ответов касается личности отца, возможно, по той причине, что он является главным добытчиком в семье, на нем лежит ответственность за материальное благополучие. Так, самым частотным ответом на стимул папа стали 严厉 (строгий, 16 чел.), 高大 (громадный/огромный/высокий, 14 чел.), 爱 (любовь, 11 чел.).

Стимул «отец/папа» русские опрошенные ассоциируют со следующими словами: сила (сильный/крепкий, 20 чел.), надежность (надежный/опора, 18 чел.),

работа (работать/занятость/дела, 11 чел.), строгость (строгий, 10 чел.) защита (9 чел.), любовь (9 чел.). Среди ответов китайских опрошенных занимает первое место ответ «строгий», который занимает четвертое среди русских. Для русских опрошенных самой частотной ассоциацией является слово «сила» (сильный). Некоторые носители русского языка дают ответ «отечество», с которым носители китайского языка ассоциируют слово «мать/мама».

Анализ русских и китайских паремий с названиями лиц по родству проводился с точки зрения их семантики. Число русских пословиц составляет 570. Число китайских — 350. Из собранного материала были проанализированы пословицы, включающие: мать/мама, отец/папа, муж-жена и т. д. Наиболее представленной оказалась группа русских пословиц с лексемами «муж» и «жена» (170 примеров), а в китайском языке — группа с лексемой «отец» (88 примеров). В данной работе предлагается анализ пословиц и поговорок с названиями «мать», «отец», «муж-жена» в русском и китайском языках.

«Мать» в русском языке

Слово «мать» в русских пословицах имеет следующие характеристики:

1. Роль в семье (23 примера):

а) Мать растит, кормит и воспитывает (15 примеров); б) Мать — защитница (6 примеров); в) Мать для детей важнее отца (5 примеров).

Например: *Какова матка, таковы и детки. И слепые щенята к матери ползут. Что мать в голову вобьет, того и отец не выбьет.*

2. Эмоционально-оценочные характеристики (7 примеров).

Например: *При солнышке тепло, при матери добро.*

3. Материнство (4 примера).

Например: *Родимая сторона — мать, чужая — мачеха.*

4. Отношение детей к матери (10 примеров).

Например: *Детки повзрели — отца, мать до века доспели.*

В основном в русских пословицах мать характеризуется через ее отношения к детям: любовь (матушкин сынок), нежность (при матери добро), понимание (нет такого дружка).

«Мать» в китайском языке

В китайских пословицах, прежде всего, акцентируется:

1. Роль матери для детей (44 примера):

а) Мать кормит и воспитывает; б) Мать дает жизнь.

Например: *无父何怙, 无母何恃 (не на кого опираться, кроме отца, нечего бояться, кроме того что мать скончалась); 有奶就是娘 (коль есть молоко — значит мать).*

2. Оценочные характеристики (9 примеров).

Например: *母亲慈悲, 儿孝顺 (мать добрая, сын почтительный).*

3. Отношения детей к матери (10 примеров).

Например: 儿不嫌母丑, 狗不嫌家贫 (*сын не отвергается от некрасивой матери, пес не отвергается от бедного хозяина*).

В китайских пословицах в основном обращается внимание на роль матери по отношению к детям.

4. Самовоспитание детей (4 примера).

Например: 爹娘生身, 各自长心 (*бабка и бабушка тело дали, а сердце надо себе развивать*); 父母生身难生性 (*отец и мать не могут гарантировать натуру детей*).

«Отец» в русском языке

В собранном нами материале число русских пословиц с лексемой «отец» и ее вариантами составляет 60. Слово «отец» в русских пословицах имеет следующие семантические характеристики:

1. Роль в семье (22 примера):

а) Глава семьи (2 примера); б) Отец кормит, воспитывает и обеспечивает (20 примеров).

Например: *Отцы терпкое поели, а у деток оскомины. Гладенькая головка (щеголь) — отцу-матери не кормилец* (плохой сын для родителей).

2. Оценочные характеристики (3 примера).

Например: *Счастливая дочь — в отца, а сын — в мать* (это, скорее всего, примета, поверье.)

3. Отношение детей к отцу (21 примера).

Например: *Умный сын — отцу замена, глупый — не помощь.*

Как видим, больше всего пословиц, в которых подчеркиваются функции отца, как кормильца, воспитателя.

«Отец» в китайском языке

В китайском языке можно отметить следующие семантические оттенки слова «отец»:

1. Отец кормит, воспитывает и обеспечивает детей (42 примера).

Например: 父亲不会耕地, 儿子不会播种 (*отец не умеет пахать — сын не умеет сеять*).

2. Оценочные характеристики (13 примеров).

Например, 父爱如山, 母爱如水 (*любовь отца как гора, а любовь матери как вода*).

3. Взаимоотношение отца и детей (13 примеров).

Например, 父子俩同心, 土变黄金; 兄弟齐使劲, 山可成玉 (*если сердца отца и сына едины — земля превратится в золото, если братья приложат силы — гора превратится в яшму*).

4. Отношение детей к отцу (14 примеров).

Например: 父仇子报, 父债子还 (*сын мстит за отца, сын погашает долг отца*).

5. Самовоспитание детей (5 примеров).

Например, *爹娘给了身, 心要自己长* (бастька и матушка тело тебе дали, а сердце надо себе развивать).

Т. е. в китайских пословицах обращается внимание на взаимоотношение отца и детей, а также на то, что в воспитании человека важны не только родители, но и сам человек.

«Муж» и «жена» в русском языке

Число русских пословиц с лексемами «муж», «жена» составляет 170 примеров (самая большая группа). В большинстве случая лексемы «муж» и «жена» появляются вместе в одной пословице.

1. Взаимоотношения между мужем и женой (63 примера):

1) Отношение мужа к жене (или важность супружества) (36 примеров):

а) муж должен жену учить, не давать ей воли, бить; б) муж должен принимать жену как необходимую, неотъемлемую часть его жизни; в) муж должен быть в семье главным; г) отношение мужа к измене жены.

Например: *Лучше камень долбить, чем злую жену учить. Жена не рукавица, за пояс не заткнешь. Женино добро колом в глотке стоит. Муж в бедах, жена в гостях.*

2) Отношение жены к мужу (24 примера): а) важность супружества для женщины; б) жизнь со старым мужем.

Например: *Муженек хоть всего с кулачок, да за мужниной головой не сижусь сиротой. Плачь, молода жена, а про свое горе никому не сказывай.*

3) Супружеские отношения в семье (17 примеров): а) хорошие отношения в семье (8 примеров); б) плохие отношения в семье (3 примера).

Например: *Муж стар, а жена молода — дожидайся детей; Муж молод, а жена стара — дожидайся плетей. Подчас и жена мужа красит. Муж в бедах, жена в гостях.*

2. Характеристики мужа и жены (45 примеров):

1) Характеристика мужа (5 примеров).

Например: *У умного мужа и глупая жена выхолена, у глупого по будням затаскана. Муж грызет на свой на хребет.*

2) Характеристика жены (30 примеров): а) хорошая характеристика жены (10 примеров); б) плохая характеристика жены (13 примеров).

Например: *У умного мужа и глупая жена выхолена, у глупого по будням затаскана. У плохой бабы муж на печи лежит, а хорошая сгонит. Хорошая жена — юрта (т. е. дом). Злая жена — злее зла.*

Для характеристики жены используются прилагательные и другая оценочная лексика: плохая, хорошая, добрая, худая, умная, злая, зла.

3. Роль мужа и жены в семье (26 примеров).

а) Жена должна вести домашнее хозяйство, муж — работать и обеспечивать семью: *Баба да кошка в избе, мужик да собака на дворе.*

б) Невыполнение своих обязанностей одним из членов семьи (или обоими): *Муж пашет, а жена пляшет.*

в) Важность семейной жизни: *Без мужа голова не покрыта; без жены дом не покрыт.*

4. Главенствующая роль жены (9 примеров).

Например: *Жена мужа не бьет, а под свой нрав ведет.*

Как видим, в русских пословицах основное внимание обращается на положение и роль супругов в семье, их взаимоотношения и оценочные характеристики.

«Муж» и «жена» в китайском языке

Сочетания «муж-жена» в переводах китайских пословиц имеют следующие семантические характеристики, относящиеся к супружеским отношениям в семье (27 примеров):

1) Хорошие супружеские отношения (11 примеров).

Например: *夫妻一条心, 土地变黄金 Муж и жена трудятся одним сердцем, и земля превращается в золото.*

2) Плохие супружеские отношения (8 примеров).

Например: *夫妻吵架, 邻居笑话 (супруги ругаются и спорят, а соседи подсмеиваются). 夫妻莫猜忌, 猜忌遭分离 (муж и жена не должны сомневаться друг в друге, сомнение разлучает их).*

В китайских пословицах отмечается сильная душевная и сердечная связь между супругами — милость, любовь и трудиться одним сердцем, даже дается сравнение супругов с животным — птицами. В китайской культуре очень ценят хорошие супружеские отношения, говорят, что это сильная опора семьи. Следовательно, недружные супружеские отношения разрушают семьи.

3) Личные отношения мужа к жене (6 примеров).

Например: *好夫不打妻, 好狗不咬鸡 (хороший мужчина не бьет жену, хороший пес не лает на кур).*

4) Личные отношения жены к мужу (3 примера).

Например: *夫到天边妻要行 (муж идет в край неба, и жена за ним вслед идет).*

Мы обнаруживаем, что в китайских пословицах о личных отношениях между мужем и женой подчеркивается, что муж занимает более высокое место, чем жена. Характеристика жены зависит от того, какой у нее муж. Даже жена старается быть красивой ради того, чтобы удовлетворить мужа.

Выводы

Чтобы выявить динамику образа семьи, нами было проведено сопоставление результатов проведенного эксперимента и анализа пословиц, в которых сохраняются традиционные образы членов семьи. В итоге были выявлены основные направления в изменении образа семьи в сознании представителей данных лингвокультур: современные люди дают больше эмоционально-оценочных ассоциатов «матери», а в китайских пословицах с лексемой «мать» акцентируется ее роль в семье: мать дает жизнь, кормит и воспитывает детей. Отметим, что в эмоционально-оценочных

характеристиках данных китайскими респондентами внешность матери занимает первое место. Современные китайские люди обращают больше внимания на внешний вид матери. На самом деле, даже если мать некрасивая, то в глазах детей она навсегда самая красивая во всем мире. Таких ассоциаций среди русских ответов нет. Группа пословиц с лексемой «отец» оказалась наибольшей по составу в китайском языке, составляет 88 примеров. Это указывает на большое значение отца в китайской семье. И в пословицах, и для современных китайских людей главную роль в воспитании играет отец. Детям необходимо прислушиваться к мнению отца. А отец должен быть идеалом для своих детей. Сопоставив данные эксперимента с пословицами, можно отметить, что образ отца не сильно изменяется. Но так же, как и образ матери, образ отца в современном понимании получает больше оценочных характеристик.

Литература

1. Большой китайско-русский словарь / под общ. ред. Б. Г. Мудрова. М.: Живой язык, 2009. 528 с.
2. Большой толковый словарь русских существительных: Идеографическое описание. Синонимы. Антонимы / под ред. Л. Г. Бабенко. М.: АСТ-Пресс Книга, 2005. 864 с.
3. Фелицына В. П., Прохоров Ю. Е. Русские пословицы, поговорки и крылатые выражения: лингвострановедческий словарь / под ред. Е. М. Верещагина, В. Г. Костомарова. М.: Русский язык, 1979. 240 с.
4. Верещагин Е. М., Костомаров В. Г. Язык и культура. М.: Индрик, 2005.
5. Готлиб О. М. Хуаин Му. Китайско-русский фразеологический словарь М.: АСТ; Восток-Запад, 2007. 608 с.
6. Даль В. И. Толковый словарь живого великорусского языка: в 4 т. М.: Терра, 1994. 2728 с.
7. Даль В. И. Пословицы русского народа: в 2 т. М.: Худож. лит., 1984. 399 с.
8. Жуков В. П. Русская фразеология. М.: Высшая школа, 2006. 408 с.
9. Карасик В. И., Слышкин Г. Г. Лингвокультурная концептология // Труды и мат-лы Междунар. конф-ции. М.: Научная книга, 2005. С. 33–34.
10. Морковкин В. В. Комплексный учебный словарь, лексическая основа русского языка. М.: АСТ; Астрель Транзиткнига, 2004. 1168 с.
11. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений. М.: Азбуковник, 1997. 944 с.
12. Пословицы и поговорки народов востока. М.: Изд-во восточной литературы, 1961. 736 с.
13. Русский семантический словарь / под общ. ред. Н. Ю. Шведовой. Москва, 2002. 924 с.
14. Семененко Н. Н., Шипицына Г. М. Русская пословица: функции, семантика, системность. Белгород: Изд-во БелГУ, 2005. 172 с.
15. 顾柏林 / 汉俄大辞典[Z]. 上海: 上海外语教育出版社, 1999.
16. 唐枢 / 中华成语熟语辞海 唐枢主编. 北京: 学苑出版社. 1995.
17. 温端正 / 中国谚语大全 温端正等编著. 上海: 上海辞书出版社, 2004. 5.
18. 温端正 / 中国俗语大词典 温端政. 上海: 上海辞书出版社, 2011. 3.
19. 现代汉语词典 / 中国社会科学院语言研究所. 北京: 商务印书馆出版, 1996.

М. А. Есенина, Н. И. Разикова

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В УРФУ

Предлагается новый подход к исследованию адаптации иностранных студентов к условиям университетской среды. Предложен анализ трех видов адаптации, проходящих через 6 взаимосвязанных этапов. Этот подход позволяет выявить трудности, с которыми сталкиваются студенты из Гвинеи, на каждом из 6 этапов трех видов социальной адаптации. С целью преодоления выявленных трудностей, авторами разработан ряд рекомендаций, которые в том числе помогут преодолеть наиболее проблемную точку во всех видах адаптации — внутренний дискомфорт иностранных студентов.

Ключевые слова: *социальная адаптация, социально-психологическая адаптация, социально-культурная адаптация, педагогическая адаптация, иностранный студент.*

A new approach to the analysis of process of adaptation of foreign students to the conditions of university environment. This approach allows to examine in detail the difficulties faced by students from Guinea in UrFU at 6 stages of 3 kinds of adaptation. Authors worked out a system of arrangements, which will improve the process of social adaptation of foreign students and will help overcome a main problem area in all kinds of adaptation — the internal discomfort of foreign students.

Keywords: *social adaptation, social and psychological adaptation, social and cultural adaptation, pedagogical adaptation, foreign students.*

В научных работах авторами исследуются различные виды адаптации, свойственные определенной профессиональной, социокультурной сфере, особенностям деятельности человека. Явление адаптации в психологии рассматривается на различных уровнях: групповом и личностном, с позиции «человек — среда», с точки зрения социального окружения человека, взаимодействия и взаимопроникновения различных культурных общностей и т. д. Например, выделяют виды адаптации по характеру протекания (нормальная, девиантная, патологическая); по отнесенности к содержанию деятельности (адаптация в учебной, трудовой, игровой деятельности); по отношению к типу культуры (межкультурная, межэтническая адаптация) и т. д.

Виды выделяются также в зависимости от длительности, сложности и направленности процесса приспособления, в отношении к индивидуальным или социальным психическим явлениям и т. д. Социальная адаптация, подвиды которой мы исследовали, означает процесс и результат активного приспособления индивида к условиям социальной среды.

В большинстве исследовательских работ используются такие методики исследования адаптации личности, как тест-опросник коммуникативного контроля М. Снайдера [1], методика определения локуса контроля поведения [1], методика диагностики социально-психологической адаптации К. Роджерса и Р. Даймонда [2] и др. Данные методики рационально использовать при исследовании адаптации личности к новому коллективу, при оценке стиля поведения личности и т. д. Однако данные методики лишены специфики исследования адаптации именно иностранных учащихся к студенческой среде. Значительным вкладом в исследование проблем социально-психологической адаптации иностранных учащихся стала теория «культурного шока», разработанная С. Бокнером, К. Обергом, и др. [3]. Следует отметить, что большинство исследований, посвященных проблемам «культурного шока», носит описательный характер. Наибольшее внимание в работах данного направления, как правило, уделяется объяснению того, почему одни адаптанты испытывают более сильный «культурный шок», а другие — менее сильный, и с какими затруднениями сталкиваются иностранные учащиеся на психологическом уровне.

Еще одна из методик исследования адаптации иностранных студентов — тест Л. В. Янковского «Адаптация личности к новой социокультурной среде» [4]. Данный тест позволяет выявить уровень и тип адаптации эмигрантов к новой социокультурной среде, где применяется специальная шкала типов адаптации: адаптивный, конформный, интерактивный, депрессивный, ностальгический, отчужденный. Однако, на наш взгляд, по причине весомого различия между терминами «иностраный студент» и «эмигрант», данную методику не следует использовать в качестве инструментария при исследовании социальной адаптации иностранных студентов.

Принимая во внимания достоинства и недостатки изложенных выше подходов к исследованию социальной адаптации, необходимо отметить, что все они по отдельности позволяют описать различные аспекты этого процесса, однако не подходят для выявления его лимитирующей стадии, в наибольшей степени затрудняющей социальную адаптацию. В то же время, определение такой стадии необходимо для приложения именно к ней наибольших корректирующих усилий, в первую очередь.

В этой связи нам представляется целесообразным подход Н. В. Махонько [5], в соответствии с которым механизм социальной адаптации на уровне личности рассматривается через шесть взаимосвязанных этапов:

- 1) отображение состояния условий жизнедеятельности в сознании человека;
- 2) оценка изменения этих состояний;
- 3) соотношение оценки с ожиданиями и жизненными планами человека;
- 4) внутренние и поведенческие особенности, возникающие вследствие взаимодействия объективных тенденций условий жизнедеятельности с субъективными оценками и ожиданиями (например, переживание дискомфорта (вплоть до шока)

от осознания огромности дистанции, отделяющей ожидания от наличной социальной действительности);

5) возникновение защитной реакции (в которую можно включить даже фазу апатии, сопровождающуюся автоматизмом реакций и ухудшением памяти);

6) принятие решения.

Такой подход позволяет детально ретроспективно проанализировать меняющееся у студентов со временем отношение к тем или иным обстоятельствам и условиям их жизни в иноязычном пространстве, а также к социальным процессам, в которые они вовлечены. Достоинством подхода является возможность установления причинно-следственных связей между принятием молодыми людьми решений в их повседневной жизни и спецификой «проживания» ими перечисленных выше этапов.

Ежедневное пребывание иностранных студентов не только в социально-бытовой, но и в образовательной среде, вынуждает их приспосабливаться к сложным и непривычным условиям и процессам в разных сферах жизнедеятельности. Иными словами, молодые люди с необходимостью участвуют в нескольких видах социальной адаптации, которые выделены исследователями адаптации (Ивановой, Терещенко, Шаглиной, Чернявской) [6], а именно:

- в социокультурной адаптации;
- в социально-психологической адаптации;
- в педагогической адаптации.

В своем исследовании мы проанализировали все эти виды адаптации, раскладывая каждый из них на шесть этапов, описанных выше. Кроме того, для определения своеобразной точки отсчета, с которой начинался процесс социальной адаптации иностранных студентов, мы провели оценку степени их социально-психологической приемлемости по Э. Богардусу [7].

Таким образом, соединив перечисленные выше элементы исследования, мы получили технологию, позволяющую комплексно изучить процесс социальной адаптации иностранных студентов на примере студентов Уральского федерального университета, прибывших из Гвинеи в 2011 году. Исследование проводилось в несколько этапов. Первоначально, в соответствии с методикой [7], иностранным студентам предлагалось выбрать один из ответов, который наиболее точно отражает их мнение по поводуприятия их россиянами:

1. Нас принимают как близких родственников.
2. Нас принимают как личных друзей.
3. Нас принимают как соседей, проживающих на одной улице.
4. Нас принимают как коллег по работе.
5. Нас принимают как граждан данной страны.
6. Нас принимают только как туристов в этой стране.
7. Нас предпочитают не видеть в этой стране.

Затем проводилась обработка данных и оценивалась реальная социальная приемлемость по формуле

$$СП_p = (\Sigma(+) + \Sigma(-)) / (n - 1),$$

где n — количество респондентов (21 для нашего случая).

Далее выяснялось, насколько реальная социальная приемлемость ($СП_p$) отличается от возможной ($СП_v = n / (n - 1)$). Если величина положительная и больше 50 % от $СП_v$, это говорит об успешной социальной приемлемости. Если отрицательная и больше 50 % от $СП_v$ — негативное отношение. Если же величина положительная и меньше 50 % от $СП_v$ — нейтральное отношение [7].

Выяснилось, что по состоянию на декабрь 2011 года наблюдалась успешная социальная приемлемость. Однако, на следующем этапе (зима 2012–2013 гг.), по мнению гвинейцев, россияне стремились обособиться от них. В последнем из исследованных нами периодов (зима 2013–2014 гг.) можно говорить о нейтральном отношении россиян к гвинейцам. Таким образом, через три ретроспективных периода приемлемость проходит путь от успешной к нейтральной через стадию отсутствия успеха.

Далее, мы исследовали социальную адаптацию иностранных студентов методом анкетирования, проанализировав каждый из трех видов адаптации по 6 этапам. Представив результаты анкетирования на графике, мы изобразили ответы респондентов в виде точек на шкале. Если большая часть респондентов отмечала положительные оценки и мнения, то точка, соответствующая данному этапу, ставилась на уровень успешности, если отмечалось равное количество положительных и негативных ответов респондентов на вопросы, касающихся определенного этапа, то точка присваивалась уровню нейтральности, если большая часть респондентов отмечала негативные оценки, то точка соответствовала уровню неуспешности.

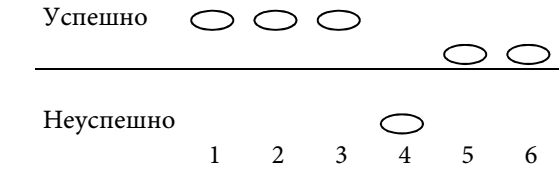


Рис. 1. Социально-психологическая адаптация

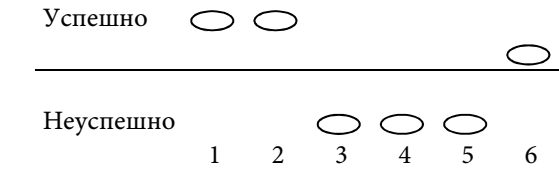


Рис. 2. Социокультурная адаптация

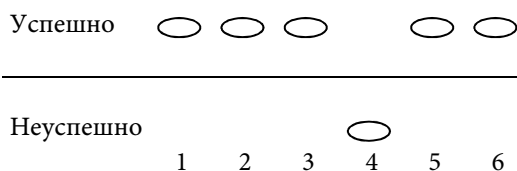


Рис. 3. Педагогическая адаптация

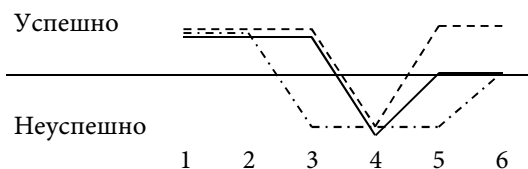


Рис. 4. Все виды адаптации (объединенный график)

Наши исследования показывают, что для всех видов адаптации характерен особенно неуспешный этап (№ 4 — этап эмоциональных переживаний), через который прошли все студенты из Гвинеи с наибольшими затруднениями по сравнению с другими этапами. Данному этапу на всех диаграммах соответствует минимум. Это означает, что в условиях дефицита ресурсов, необходимо именно на этот этап обратить особое внимание структурных подразделений университета и отдельных преподавателей, которые имеют отношение к организации обучения и быта студентов из Гвинеи.

Несмотря на общие проблемные точки, для разных видов адаптации были обнаружены и специфические моменты. Так, говоря о социально-психологической адаптации, можно отметить, что первые три этапа прошли успешно. Большинство студентов из Гвинеи по приезду в Екатеринбург чувствовали себя безопасно и комфортно в университете среди студентов и с заинтересованностью знакомились с ними. Спустя два года с половиной, ребята комфортнее стали чувствовать себя в академических группах. В целом же большинство гвинейцев положительно себя настроили и это ожидания оправдались. Четвертый этап прошел неуспешно у подавляющего большинства респондентов, пятый и шестой этапы прошли у студентов на среднем уровне. К трудностям данного вида адаптации гвинейские студенты относят некоторые конфликтные ситуации, вызванные их произношением, взаимным непониманием шуток, пренебрежительным отношением к ним, акцентом на их цвете кожи, а не на внутреннем мире, навязчивым любопытством со стороны российских студентов.

В отношении социально-культурной адаптации можно констатировать, что первые этапы прошли успешно, за исключением отношения к климатическим условиям. Подавляющее большинство студентов привыкли к новому месту проживания, и оценка изменения действительности у них приобрела позитивную окраску. К сожалению, третий, четвертый и пятый этапы социально-культурной адаптации

прошли у большинства студентов неуспешно, что связано с несовпадением их ожиданий по вопросу климатических условий Урала и динамики изучения русского языка с реальной действительностью. Необходимо отметить, что мы говорим здесь о русском языке в социокультурной адаптации в части овладения им как способом общения, как языком среды проживания. Защитная реакция же в дальнейшем выражается в неучастии гвинейцев в культурных мероприятиях из-за трудностей с русским языком. Эти этапы характеризуется внутренними переживаниями, апатией и отторжением действительности. Шестой этап у студентов прошел нейтрально. В вопросах, касающихся данного этапа, разброс мнений респондентов был достаточно большим. 12 студентов посещают культурные мероприятия в нашем городе и принимают участие в мероприятиях УрФУ. Что касается нежелания остальных, на это могут быть разные причины: незаинтересованность в русской культуре, трудности с языком. Только 7 человек питаются с удовольствием в столовых нашего университета. Это связано с существенной разницей между русской кухней и гвинейской. Выделяя трудности в данном виде адаптации, можно отметить, что больше половины студентов сталкивались с неприятными ситуациями из-за незнания русского этикета, это объясняется тем, что студенты из Гвинеи не могут знать всех тонкостей русской культуры и правил поведения.

Переходя к обсуждению педагогической адаптации, можно отметить, что все этапы, кроме четвертого, прошли успешно. Подавляющее большинство гвинейских студентов по приезду в город с заинтересованностью посещали занятия по русскому языку, выбранная ими специальность соответствует их ожиданиям. Подавляющее большинство респондентов продемонстрировали свое серьезное отношение к учебе и упорство: они не пропускают занятия, стараются всегда выполнять домашнее задание. Только 4 человека прошли фазу защитной реакции, не делая домашнее задание из-за того, что трудно и непонятно. 18 студентов из Гвинеи пользуются библиотекой УрФУ. Это говорит нам о том, что они адаптировались к условиям учебного процесса. Спустя два года с половиной у студентов из Гвинеи добавились профильные предметы, в изучении которых они испытывали ряд трудностей. Только 6 респондентов ответили, что они практически не переживали из-за этого. Остальные же испытывали состояние внутреннего дискомфорта.

В такой ситуации важно понимать, способствуют ли административные органы вуза более успешному процессу адаптации иностранных студентов в том числе, и на наиболее проблемном 4-м этапе. Из ответов студентов явствует, что уже по приезду в город они не чувствовали психологической поддержки со стороны отделов вуза. Возможно, такое мнение возникло потому, что студенты ожидали более внимательного и заботливого отношения к ним со стороны отделов. У некоторых студентов не всегда есть возможность обратиться в отделы по каким-либо вопросам. Они не знают полного перечня отделов, от которых могут получить помощь, не могут обратиться на их родном языке в отдел из-за невладения сотрудниками французским языком, также студенты боятся быть непонятыми, один студент

отметил плохое отношение со стороны работника отдела. Ситуацию несколько облегчил тот факт, что к ним на первое время прикрепляется студент той же национальности. В исследованиях Сурыгина [8] убедительно доказано, что преподаватель в интернациональной среде должен владеть поликультурной компетенцией. В нашем вузе отсутствует система специальной подготовки преподавателей к работе с иностранными студентами, а значит, формированию поликультурных компетенций у преподавателей не уделяется достаточного внимания, поэтому в большинстве случаев игнорируется опыт образования на родине студентов.

Нами было проведено сравнение мнений экспертов (Е. В. Еланцевой, заместителя директора центра по работе с иностранными учащимися и Э. Балоян, председателя совета Студенческой организации объединенных наций) и студентов по объединенным группам вопросов и результаты показали, что мнения совпадают только по одному вопросу.

По мнению экспертов, в первое время студентам уделяется достаточное внимание, в чем собственно и проявляется вся специфика работы, однако большинство студентов не почувствовали психологической поддержки со стороны сотрудников УрФУ.

Оба эксперта считают, что у студентов есть возможность обращаться к ним в случае возникновения каких-либо проблем. Однако, студенты указывают на ряд трудностей, из-за которых они не всегда могут обратиться.

По мнению экспертов, все гвинейцы активно и свободно общаются с российскими студентами, чувствуют себя в их среде комфортно. Однако это противоречит результатам анкетирования.

Эксперты считают, что у студентов нет ностальгии по родине. Однако, это не соответствует действительности. По-видимому, специалисты отделов просто не изучали этот вопрос детально. Ведь подавляющее большинство гвинейцев чувствует себя здесь очень одиноко. Возможно, решением этой проблемы будет предоставление студентам условий для проведения каникул на родине. Этот вопрос относится к компании РУСАЛ, т. к. эта компания занимается финансированием студентов.

Подводя итог нашему исследованию, мы сделали выводы, что в целом адаптация студентов из Гвинеи в условиях УрФУ проходит успешно, однако имеются трудности, по большей части, в социокультурной адаптации. Важно отметить, что основная проблемная точка во всех видах адаптации соответствует четвертому этапу, связанному с внутренним дискомфортом. Это, по-видимому, вызвано отсутствием в университете системы адаптационной поддержки иностранных студентов в вузе, которая могла бы способствовать подготовке и российских и иностранных студентов к продуктивному и комфортному взаимодействию.

С целью преодоления указанных трудностей, мы разработали ряд рекомендаций:

СООН / отделу по работе с иностранными студентами:

- Ознакомление студентов с российской культурой, правилами этикета и поведения в общественных местах;
- Оказание тьюторской помощи в решении бытовых и организационных вопросов (как было предложено А. А. Казанцевой, кандидатом филологических наук);
- Разработать и передать студентам информационную брошюру с указанием контактных данных отделов и служб, способных оказать им поддержку в различных сферах жизнедеятельности.

Учебному отделу:

- Подготовка преподавателей, работающих в интернациональной аудитории, с целью формирования поликультурной компетенции.

Службам проректора по социальной и воспитательной работе:

- Организовать работу по подготовке российских студентов к приему в состав своих групп студентов — представителей другой культуры;
- Активизировать психологическое консультирование иностранных студентов.

Проректору УрФУ по международным связям:

- Ввести в штат отдела по работе с иностранными студентами сотрудников, владеющих основными европейскими языками: английским, немецким, французским.

Литература

1. Режим доступа: <http://www.mindbenefit.com/masuvs-820-1.html>.
2. Режим доступа: <http://psylab.info>.
3. Мазитова Л. Т. Диссертация «Социальная адаптация иностранных студентов». 2002.
4. <http://vsetesti.ru/394/>.
5. Махонько Н. В. Социокультурная адаптация в трансформационных процессах культуры: дис. ... канд. филос. наук: 24.00.01. Краснодар, 2001.
6. Иванова М. А., Шаглина Н. Д., Смелкова И. Ю. Академическая адаптация китайских студентов к высшей школе России // Предвузовская подготовка иностранных студентов в СПбГПУ. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005.
7. Грицанов А. А., Абушенко В. Л., Евелькин Г. М., Соколова Г. Н., Терещенко О. В. Социология: Энциклопедия. 2003.
8. Сурыгин А. И. Основы теории обучения на неродном для учащихся языке. СПб.: Златоуст, 2000. 230 с.

Д. В. Зайцев, Д. А. Метелев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ СТУДЕНТОВ КАЧЕСТВОМ РАБОТЫ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА

Основной целью исследования является обоснование необходимости учета мнений студентов о преподавателях и профессорах, качестве их работы. Данная статья содержит описание проблемы субъективности существующих методов оценки профессорско-преподавательского состава, а также предложение новых методов и идей.

Ключевые слова: *студенты, качество, профессорско-преподавательский состав, методы оценки качества, проблема субъективности.*

The primary goal of the article is to prove necessity of accounting of student's views about lecturers and professors. It includes description of the problem of objectivity of existing methods and the opportunity for solving it and offering of new methods and ideas.

Keywords: *students, quality, qualified teaching staff, quality assessment methods, the problem of subjectivity.*

Образование играет очень важную роль в нашей жизни. Это одно из самых ценных приобретений человека. На протяжении всей истории человечества прогресс в основном зависел от людей, получивших определенный уровень образования. К настоящему времени сформировались различные варианты подготовки специалиста в той или иной области деятельности [1].

Система высшего образования в России за последние годы претерпела существенные изменения. Основной причиной этих модернизаций являлось принятие условий Болонского процесса, что предполагает сближение и гармонизацию систем высшего образования стран Европы с целью создания единого европейского пространства высшего образования, а для этого необходимо, чтобы образование, получаемое гражданами различных стран, было максимально аутентично. Вследствие этого практически для всех специальностей отечественных высших учебных заведений была проведена реформа, которая предполагала замену специалитета на бакалавриат и магистратуру. Однако для того чтобы модернизировать ранее существовавшие образовательные программы, учебные планы и рабочие программы специалитета, вузам пришлось сократить часы, а иногда и вовсе убрать из учебного плана те или иные дисциплины. В итоге, качество образования студентов начало в значительной степени зависеть от квалифицированности преподавателя в определенной области знаний и от его педагогических навыков и умений.

Модернизация отечественной системы инженерного образования, связанная с переходом на подготовку бакалавров и магистров по техническим направлениям,

с внедрением новых федеральных образовательных стандартов, с применением современных методов и технологий обучения, определяет новые требования к профессорско-преподавательскому составу (ППС) технических вузов. Эффективность реализации образовательных программ в различных областях во многом зависит от умения преподавателей находить оптимальные способы подготовки выпускников к комплексной инженерной деятельности в условиях современного производства [2]. Следовательно, возникает необходимость формирования определенных критериев оценивания компетенций профессорско-преподавательского состава. Причем, важно отметить, что основным субъектом образовательного процесса является студент, поэтому учет степени его удовлетворенности условиями и результатами обучения необходим.

Так, в поручении Президента РФ 1148 п. 2 от 22 мая 2014 года В. В. Путин прямо указывает на необходимость создания внутренних систем оценки деятельности научно-педагогических работников и удовлетворенности студентов условиям обучения с целью дальнейшего учета полученных результатов в системе показателей эффективности деятельности высших учебных заведений [3]. Это указание президента опирается на закон «Об образовании в Российской Федерации», в соответствии с которым студенты становятся полноправными участниками управления образовательной организацией (273 ФЗ, ст. 26) и имеют право на участие в формировании содержания своего профессионального образования (273 ФЗ, ст. 34) [4].

В соответствии с этим в августе 2014 года был предложен проект студенческого стандарта качества образования, который предполагает создание критериев качественного образования (исходя из мнений заказчиков образовательной услуги — студентов) и формирование на этой основе системы показателей, по которой будет проводиться внутренняя оценка. Студенческий стандарт качества образования призван обеспечить включение студентов в создание внутренних систем оценки деятельности научно-педагогических работников и удовлетворенности студентов работой ППС [5].

Примером привлечения и участия студентов в формировании рейтинга преподавателей вузов является ежегодно-реализуемый проект УрФУ «Лучший преподаватель УрФУ глазами студентов». Целью проекта является вовлечение студентов в процесс оценки работы профессорско-преподавательского состава и стимулирование преподавателей к совершенствованию образовательного процесса за счет публичного признания лучших в рамках проекта по созданию рейтинговой системы преподавателей (приказ № 254/03 от 08.04.2014 года).

В соответствии с политикой университета в области качества достижение указанной цели и совершенствование деятельности осуществляется на основе следующих принципов:

- постоянное изучение, мониторинг и прогнозирование требований и удовлетворенности всех заинтересованных сторон (государства, работодателей, студентов, преподавателей и сотрудников университета, общества в целом);

- формирование гарантий качества образовательного процесса и компетентности преподавательского состава;
- активизация роли органов студенческого самоуправления и вовлечение общественных и профессиональных организаций в процесс совершенствования качества образования.

Проект реализуется за счет проведения голосования за лучшего, по мнению студентов, преподавателя по трем номинациям «Лучший преподаватель» (внутри института), «Лучший лектор» и «Увлекательный наукой». При этом респонденты вправе проголосовать лишь один раз, причем студенты-бакалавры имеют вес голоса, оцениваемый в 3 балла, а студенты-магистранты — в 5 баллов. Следует отметить, что голосование происходит через интернет и только теми респондентами, у которых есть аккаунт в университетской сети[6].

Обсуждение данного проекта происходило 23 апреля 2014 года в дискуссионном клубе медиацентра университета «Своя среда», где были рассмотрены возникшие проблемы при организации конкурса. Основная проблема, выдвинутая организаторами, это недостаточная информированность и стимулирование студентов к участию в конкурсе. Однако, по словам организаторов, эта проблема будет ими учтена в будущем [7].

Положительная сторона данного проекта все же очевидна, а именно: вовлечение студентов в процесс оценки деятельности профессорско-преподавательского состава, а также стимулирование преподавателей к совершенствованию образовательного процесса. Однако следует отметить, что конкурс имеет и негативные стороны: во-первых, наблюдается тенденция к смене целей и ценностей образовательного процесса, а именно с качества знаний, получаемых студентами, к формированию определенной оценки преподавателя. В этом случае, преподаватель будет заинтересован больше мнением студентов о нем, нежели образовательным процессом. Во-вторых, конкурс не учитывает то, что все преподаватели имеют разное количество студентов, вследствие чего в рейтинге шансы занять верхние позиции будут выше у тех, у кого их больше. Это является несправедливым по отношению к тем преподавателям, которые читают лекции или вовлекают студентов в науку не хуже других, но обучают меньшее количество студентов. В-третьих, на внутриуниверситетском голосовании часто студенты склонны отдавать свой голос преподавателям тех институтов, куда они поступили. Таким образом, возникают спорные вопросы по поводу объективности проводимого конкурса.

Следует отметить, что основанием проведения конкурса является именно важность проведения оценки удовлетворенности студентов работой профессорско-преподавательского состава. Был проведен анализ возникшей проблемы и его результатом являются следующие рекомендации и идеи:

1. Опросно-рейтинговый метод. Данный метод предполагает наличие следующих этапов: разработку списка номинаций-характеристик преподавателей; составление опросного листа студента, в котором каждая номинация зашифрована

в соответствующем вопросе (вопросах); составление балльной характеристики преподавателя по заданным номинациям на основании полученных социологических данных; определение процентной составляющей каждой номинации из всего перечня, взяв заранее сумму всех баллов за 100 %, что позволит дать качественную характеристику каждого преподавателя; сравнение всех преподавателей на основании процентных и балльных результатов по соответствующей характеристике; составление рейтинга преподавателей и определение победителей в каждой номинации. Следует отметить, что голосование должно происходить анонимно, при этом не требуется информировать студентов и преподавателей о проведении данного конкурса. Публикуются лишь окончательные результаты конкурса.

2. Метод «тайного студента». Данный метод можно признать аналогичным по технологии с методом «тайного покупателя», используемым предприятиями для оценки удовлетворенности покупателей и получения необходимой информации для проведения дальнейших маркетинговых исследований. Его использование даст возможность получить не только необходимую информацию от студентов, но и оценить взаимоотношения между ними и преподавателями по заранее четко установленным критериям. В дальнейшем осуществляется процесс обработки полученной информации, после чего результаты подвергаются анализу на удовлетворенность студентов преподавателем, а также выявляются проблемы взаимоотношений.

Современные требования в области образования предполагают необходимость внутренней оценки удовлетворенности студентов условиями и результатами образования и профессорско-преподавательским составом. Существуют различные практические методы учета мнений студентов и преподавателей. Однако проблема субъективности и неидеальности различных методов по исследованию удовлетворенности студентов преподавателями до сих пор является нерешенной, поскольку при проведении социологических опросов мы руководствуемся исключительно мнением студентов. Абсолютного результата ни от одного из существующих методов получить, к сожалению, заведомо не удастся, но постепенное совершенствование и разработка новых, с целью постоянного уменьшения субъективизма и движения все ближе и ближе к объективному, и есть основная задача в решении этой проблемы.

Литература

1. Образование в нашей жизни [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.litrasoch.ru/>. (Дата обращения: 13.03.2015 г.).
2. Мягков М. Ю. Повышение квалификации преподавателей в области применения международных стандартов CDIO // Высшее образование в России. 2014. № 6. С. 167.
3. Путин В. В. Поручение президента РФ № 1148, п. 2, 22.05.2014.
4. Федеральный закон РФ «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.zakonrf.info/>. (Дата обращения: 12.03.2015 г.).

5. Зотова В. А., Козак Е. М., Блинов Г. Н, Валиахметов Р. Н., Новоселов И. Проект студенческого стандарта качества образования от 26.08.2014. Всероссийское общественное движение «За качественное образование». 2014. С. 41. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.studstandart.ru>. (Дата обращения: 11.03.2015).
6. Конкурс «Лучший преподаватель глазами студентов» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://bestteacher.urfu.ru/>. (Дата обращения: 10.03.2015).
7. Артюшенко А., Березовская Е. Через тернии к звездам // Газета Уральский Федеральный выпуск, от 28 апреля 2014 года. 2014. С. 8.

К. Р. Капсалыкова

ЧУДЕСА И ДИКОВИНЫ В ЗЕРКАЛЕ «КРАТКОЙ ИСТОРИИ» ИОАННА СКИЛИЦЫ

Статья посвящена интерпретации исторического материала, собранного византийским хронистом Иоанном Скилицей. Пристальное внимание уделяется представлениям Скилицы о природных явлениях и фактах социальной жизни.

Ключевые слова: Византия, византийская армия, история науки, Иоанн Скилица, историография

This article is devoted to the interpretation of the historical material by the Byzantine chronicler John Skylitzes. The general attention is paid to Skylitzes representations of natural phenomena and facts of social life.

Keywords: Byzantium, the byzantine army, history of science, John Skylitzes, historiography.

Историческая хроника Иоанна Скилицы, по его собственному замечанию, может быть «полезна всем, кто любит историю, особенно для тех, кто предпочитает то, что легко читается, и что так должно следует стремиться к истине»¹. Скорее всего, его карьера на императорской службе началась в 50-е гг. XI в. и была достаточно успешной. При Алексее I Комнине (1081–1118) куропалат Иоанн Скилица занимал должности протовестиария и друнгария вила². Последнее упоминание о нем относится к марту 1092 г., когда «куропалат и бывший друнгарий вила» Иоанн Фракийский направил императору ὑπόμνησις («памятную записку»), посвященную правовым вопросам³. Иоанн Скилица — таинственная фигура. Редкие автобиографические заметки скупо иллюстрируют этапы его долгой карьеры, но зато богатое содержание пространной (вопреки названию!) «Краткой истории» характеризует интересы нашего хрониста. Скилицу интересуют различные диковинные происше-

¹ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum* / ed. I. Thurn. Berlin; New York, 1973. 4.38–41.

² *Georgius Cedrenus Historiarum compendium* / rec. I. Bekkerus. Bonnae, 1838. Т. 1. Р. 5.4: ὁ δὲ πρωτοβεστιάριος Ἰωάννης ὁ Θρακῆσιος; *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum*. Р. 3.4–5: Ἰωάννου κουροπαλάτου καὶ γεγονότος μεγάλου δρουγγαρίου τῆς βίβλας Σκυλίτζη. Подробнее о происхождении и карьере Иоанна Скилицы см.: *Seibt W. Ioannes Skylitzes. Zur Person der Chronisten* // *JÖB*. 1976. Bd. 25. S. 81–85.

³ *Jus graeco-romanum* / ed. C. E. Zachariae von Lingenthal. Lipsiae, 1857. Pars. 3: *Novellae constitutiones*. Р. 376. См. также: *Antoljak S. Wer könnte eigentlich Joannes Scylitzes sein?* // *Actes du XIV^e congrès international des études byzantines* (Bucarest, 6–12 septembre 1971) / éd. par M. Berza, E. Stănescu. Bucuresti, 1976. Т. 3. S. 678–679.

ствия, предсказания судьбоносных для империи событий, подноготная заговоров и даже... этимология географических названий.

Природные катаклизмы интересны Скилице, в первую очередь, как фон для описаний политической жизни Византии, и сам хронист относится к ним с большой долей фатализма. «В конце XI в. и в начале XII в. аудитория Скилицы состоит из ученых, аристократов, стоящих рядом с Комнинами, его речи дискредитировали македонские семьи и особенно Пафлагонцев может только радовать тех людей, что были у власти, или, по крайней мере, их отцов до времени Константина IX Мономаха. Императорская власть с землетрясениями может ничего не делать, в лучшем случае, может пытаться ограничить их последствия для населения, и это не может вызвать гнев Божий и тем самым уменьшить для византийцев ужасы и опасности гнева земли»⁴. В 927 г. в родной для Скилицы феме Фракисии «случилось землетрясение, и в разверзшиеся земные недра попадало множество церквей и народа»⁵. Скилицу волнуют события, связанные с земледелием, — основой экономики Византии. В 1034 г. «целые стаи саранчи уничтожили поля Фракисия в течение трех лет. Слуге епископа Пергама во сне было страшное видение, предрекающее новые ужасные беды. Оно было божье наказание за грехи, за убийство императора Романа и осквернение его брачного ложа»⁶.

Через два года «у жителей Фракисия саранча уничтожила каждый выросший плод»⁷.

Много внимания хронист уделяет предсказаниям и политическим прогнозам. Так, описывая конец правления императора Михаила Рагнаве, Скилица приводит предзнаменование его падения. «У Михаила служила рабыня, приближенная к его семье. Раньше она страдала психическим расстройством, обостряющимся в новолуние. Именно тогда она стала жертвой этого расстройства. Она приходила к тому месту, где стоят каменные скульптуры быка и льва, потому, кстати, это место обычно называют Вуколеон. Там она взывала к василевсу оглушительным голосом: «Спускайся вниз! Отдай то, что принадлежит другим». Когда такое случилось несколько раз, василевс испугался и встревожился....»⁸.

Иоанн Скилица интересовался и военными событиями, уделяя полководцам значительно больше внимания, нежели остальные византийские авторы⁹. При этом он больше интересуется политической обстановкой вокруг того или иного

⁴ *Limousin E. Jean Skylitzès, les empereurs et les séismes // Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité / Sous la dir. de R. Favier, A.-M. Granet-Abisset. Grenoble: MSH Alpes, 2005. P. 187.*

⁵ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum. 221.93–95.*

⁶ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum. 394.77–395.94.*

⁷ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum. 399.5–6.*

⁸ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum. 11.68–74.*

⁹ См. более подробный анализ исторического источника: *Мохов А. С. Византийская армия в сер. VIII — сер. IX вв. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2013. 272 с.*

военного конфликта, хотя порой прячет этот интерес под маской очередной удивительной истории. В 1030 г. «...небывалое дело случилось в феме Фракисий. У самой горы Кузина (τοῦ ὄρους Κουζηνᾶ), протекал источник отличной воды. Из земли и воды слышался голос, похожий на плач женщины. Случалось это не раз и не два, но каждый день, днем и ночью, с марта до середины июня. Когда некоторые люди пришли осматривать место, откуда доносился голос, то стоны раздались поблизости. Многим казалось, что голос заранее оплакивает погибших ромеев в Северной Сирии»¹⁰. Собственно, поход императора Романа Аргира начался с ряда поражений, ведь император не послушался предусмотрительных советов опытного Иоанна Халда, уверяющего, что в августе сильная жара, отсутствие нужного количества припасов, «арабов, способных воспользоваться этими бедами»¹¹ ромеев приведет весь поход к катастрофе. Но пессимистические настроения в итоге не оправдались, и войско вернулось с победой.

Кроме того, Скилицу занимают и вопросы взаимоотношений между людьми. Примерно в то же время «случилось следующее, достойное подробного рассказа. Один из поселившихся в феме Фракисий для зимовки варангов, увидев местную женщину, потерял всякую сдержанность. Он напал на нее, желая обесчестить, но ей удалось выхватить нож, которым она смертельно ранила варвара в сердце. Когда же весть о случившемся разнеслась в округе, варяги вознаградили женщину, отдав ей и все имущество насильника, а того бросили без погребения, согласно их закону, как самоубийцу»¹². Скилицу волновали также психологические истоки тех или иных социальных явлений. Так, он видит причины заговора против императора Михаила Стратиотика именно в его грубом поведении и несправедливых упреках, которыми тот осыпал заслуженных византийских полководцев. «Эрве, правда, он ведь варвар, был вне себя от ярости, совершенно не в состоянии проглотить обиды. Не зная о готовящемся заговоре среди римлян, он не терял времени зря. Его единственной мыслью было отомстить тем, кто нанес ему обиду. Он попросил — и потом получил разрешение вернуться к своему дому; он сказал последние слова императору и быстро уехал. Он пошел на риск и продолжил свое дело в своем доме Дагараве, что находится в феме Армениак. Он высказал свое мнение нескольким франкам, которые остались на зиму в этой области. Из них Эрве смог подкупить триста»¹³.

¹⁰ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum* 377.26–378.34. Подр. см.: Мохов А. С. Командный состав византийской армии в XI в.: правление Романа III Аргира (1028–1034) // АДСВ. 2000. Вып. 31. С. 178–183.

¹¹ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum*. 380.34–35.

¹² *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum*. 394.70–77. Подр. см.: Литаврин Г. Г. Варяги и византийка // Славяноведение. 1999. № 2. С. 4–6.

¹³ *Ioannis Scylitzae Synopsis historiarum*. 485.47–54.

Таким образом, Иоанн Скилица в «Краткой истории» уделяет большое внимание различным событиям, связанным с повседневной жизнью византийцев. На страницах хроники можно обнаружить как бытовые сценки, природные явления, так и реконструкции тех или иных политических умонастроений. При всей приверженности этого автора к христианской догматике, Скилица сохраняет, в некоторой степени, присущий античности фатализм. Он видит в исторических событиях поступь рока, пытается выглядеть бесстрастным.

Хроника Иоанна Скилицы является одним из ценнейших источников по истории Византии.

Литература

1. *Ioannis Scylitzae Synopsis Historiarum* / ed. I. Thurn. Berlin, N.-Y., 1973.
2. *Литаврин Г. Г.* Варяги и византийка // *Славяноведение*. 1999. № 2. С. 4–6.
3. *Мохов А. С.* Византийская армия в сер. VIII — сер. IX вв. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2013. 272 с.
4. *Мохов А. С.* Командный состав византийской армии в XI в.: правление Романа III Аргира (1028–1034) // *АДСВ*. 2000. Вып. 31. С. 178–183.
5. *Antoljak S.* Wer könnte eigentlich Joannes Scylitzes sein? // *Actes du XIV^e congrès international des études byzantines* (Bucarest, 6–12 septembre 1971) / éd. par M. Berza, E. Stănescu. Bucuresti, 1976. T. 3. S. 678–679.
6. *Georgius Cedrenus* *Historiarum compendium* / rec. I. Bekkerus. Bonnae, 1838. T. 1. P. 5.4.
7. *Jus graeco-romanum* / ed. C. E. Zachariae von Lingenthal. Lipsiae, 1857. Pars. 3: *Novellae constitutiones*. P. 376.
8. *Limousin E.* Jean Skylitzès, les empereurs et les séismes // *Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité* / Sous la dir. de R. Favier, A.-M. Granet-Abisset. Grenoble: MSH Alpes, 2005. P. 175–188.

Р. М. Карамов

ПРОЦЕССНОЕ УПРАВЛЕНИЕ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

В данной статье представлены рассуждения о процессном управлении. Рассмотренные проблемы требуют детальной проработки и дальнейшего изучения. В статье представлена модель совместной работы нескольких управленческих подходов, данная идея послужит основой для диссертационного исследования. Выявленные результаты должны помочь строительному кластеру выйти на передовое место в российской экономике и составить конкуренцию на международном строительном рынке.

Ключевые слова: *управление бизнес-процессами, владелец процессов, компетенции, управление талантами, производственная организация, управление строительством.*

This article presents arguments about process management. Considers the problems require detailed study in the future. The article presents a model coordination of diferent management approaches, this idea can be the basis for dissertation research. Revealed results should help the construction cluster become a leader in the Russian economy and it can enter in the international construction market.

Keywords: *business process management, process owners, competencies, talent management, organization performance, construction management.*

Существует множество методов повышения эффективности деятельности предприятия. Одним из современных методов является процессное управления. Преимущество процессного подхода состоит в непрерывности управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных процессов в рамках их системы, а также при их комбинации и взаимодействии.

При применении внутри системы менеджмента качества такой подход подчеркивает важность:

- понимания требований и соответствия им;
- необходимости рассмотрения процессов с точки зрения добавления ценности;
- достижения результатов в рабочих характеристиках процессов и эффективности;
- постоянного улучшения процессов, основанного на объективном измерении [1].

Процессный подход совершенствует организационную производительность и оперативность, снижает издержки, ускоряет производственный цикл, улучшает отношения с заказчиками и получение новых заказов (D. Tuček and M. Hrabal).

Процессный подход в России пока еще не получил такого распространения, как в корпоративном секторе западных стран. Но в последнее время интерес российских компаний к описанию и совершенствованию своих бизнес-процессов растет (А. В. Собакарева).

В России, так же как и в мире существуют определенные проблемы по внедрению процессного управления на предприятии. Особое внимание следует уделить строительной отрасли. В отличие от других отраслей промышленности в строительной сфере существует ряд особенностей, которые могут оказать существенное влияние на внедрение процессного управления в строительных компаниях и строительных холдингах.

Строительные проекты характеризуются имманентной сложностью, разнообразием и нестандартизированным методом их производства. Для региональных строительных компаний основной особенностью, которую следует учитывать при внедрении процессного управления, является: территориальная удаленность. Строительные объекты располагаются в значительной степени удаленности от головного офиса, производственного цеха или завода бетонных изделий. Например, офис и производство располагаются в одном регионе РФ, а строительная площадка в другом. В связи с чем возникают проблемы: доставка материальных и людских ресурсов непосредственно к месту приложения труда, обеспечение непрерывного потока информации между всеми подразделениями, координация в принятии управленческих решений. При этом необходимо поддерживать быстрые темпы и соблюдать сроки строительства в условиях сильнейшей конкуренции, что особенно актуально в нестабильной экономической ситуации.

В новой российской экономике немаловажными факторами при внедрении процессного управления являются: человеческий ресурс, его ментальность и особенности становления бизнеса в России. В отличие от западных стран, где капитализм развивался не одно столетие, в нашей стране бизнес-отношения развиваются с оглядкой на западные страны, но по своему сценарию. Поэтому при внедрении процессного управления необходимо исследовать и учитывать характерные особенности российской бизнес-этики.

Что же нужно для успешного внедрения процессного управления в российской строительной отрасли? На первом этапе требуется определить необходимо ли это для предприятия, есть ли у компании средства и время на работу в этом направлении. Несомненно, процессное управление подходит не для всех компаний. Зарубежный опыт подсказывает, что процессное управление наиболее эффективно (зарекомендовало себя, существует определенная методология по внедрению) в компаниях численностью от 300 до 1000 человек. Для компании численностью сотрудников больше 1000 человек необходимо учитывать особенности организационной структуры и занимаемой отрасли (ведение хозяйственной деятельностью).

Далее следует определить цели, которые преследует компания при внедрении процессного подхода. Стоит ли конечный результат вложенных усилий? Многие компании тратили время, силы на совершенствование организационной структуры, но не приходили к кардинальным результатам. Во многих компаниях внедрение процессного управления срывали сами работники. Процессный подход подразумевает нововведение: новые функции к конкретному работнику, выполнение большего количества задач за те же деньги. Руководители структурных подразделений часто несерьезно относятся к задаче высшего руководства по внедрению процессного управления. Ведь все изменения в организации должны происходить без отрыва от основного производства, что налагает большую ответственность на руководство подразделений. Процессный подход требует огромных усилий на первоначальном этапе, необходимо разработать и внедрить новые принципы управления и механизмы принятия решений. Расписать инструкции для персонала, определить ответственных лиц и обеспечить контроль над выполнением поставленных функций.

Для крупных региональных компаний строительной отрасли основные пункты для разработки процессного подхода следующие:

- создание теоретических и методологических материалов: свод правил, описание регламентации процессов, взаимосвязи их между собой, цели и задачи. Все разделы должны соответствовать существующим нормативно-правовым актам РФ в сфере качества строительных работ (пожалуй, самый объемный блок);
- для успешного результата стоит оценить и выявить ожидаемые риски и проблемы, охарактеризовать и разделить их по критерию значимости, принять соответствующие меры по их устранению;
- мотивационные программы для персонала (денежная или иная), учитывая потребности и особенности понятия «русский человек»;
- информационные программы и программное обеспечение для непрерывной передачи данных между всеми подразделениями компании, а так же связь строительный объект — головной офис.

Существует множество проблем, связанных с внедрением процессного управления. Крупные строительные компании, работающие во многих регионах России, имеют сложную производственную структуру. Множество объектов строительства, сложная система логистики и связи филиалов требуют кардинально нового подхода к управлению компанией. Процессный подход необходимо интегрировать в хозяйственную деятельность предприятия, при этом учитывать положительные качества других систем управления и объединить их в единый управленческий подход. Сведем основные научные подходы к управлению в таблицу и обозначим основные задачи каждого подхода:

Таблица

Научные подходы к управлению организациями (А. М. Платонов)

Структурный подход	Функциональный подход	Процессный подход	Проектный подход
Кто делает?	Что делает?	Как делает?	Как достичь результата?
Управление по структурным элементам (бюро, отделам, департаментам, и т. д.) через должностных лиц	Управление по функциям и функциональным областям (службам, отделам, цехам, бригадам)	Управление бизнес-процессами	Управление проектом

Одним из главных и трудоемких производственных процессов является делопроизводство, которое в большинстве своем подчиняется единым схемам и принципам. В него входит: управление отделами, взаимосвязь подразделений, документооборот и т. д., в этой области для получения максимальной продуктивности возможно применение процессного подхода, который оптимизирует работу и повысит скорость обмена информацией и принятия решений.

Для достижения максимальной продуктивности в организационной деятельности необходимо одновременно ответить на четыре главных производственных вопроса (см. табл.). Например: в рамках одного проекта используется процессный подход (планирование, организация, контроль, координация, учет и анализ), а в управлении проектами используется проектный подход с элементами процессного подхода, а на строительном производстве (непосредственно на строительной площадке) используется функциональный подход. Примерная схема производственной деятельности одного обособленного подразделения при совместной работе разных управленческих подходов представлена на рис. 1.

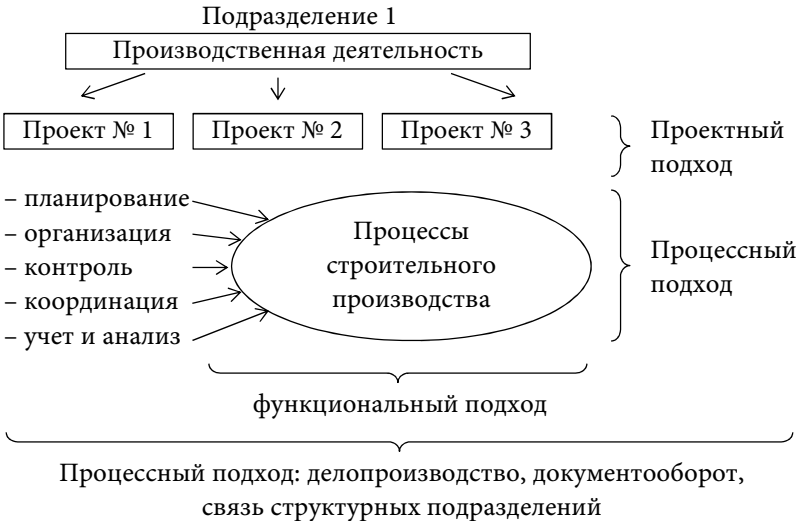


Рис. 1. Схема производственной деятельности при совместной работе разных управленческих подходов.

Под проектами подразумеваются: объекты строительства, инвестиционные программы и другие производственные элементы строительной фирмы.

Данное подразделение расположено в одном регионе страны и управляет N количеством проектов. В крупной компании может быть несколько отделов или филиалов в различной степени удаленности от центрального или головного офиса. Управление обособленными подразделениями и координация их работы, через должностных лиц, ведется с помощью структурного подхода. Но что касается делопроизводства, важную роль стоит отвести процессному управлению и созданию корпоративной сети INTRANET, которая позволит в кратчайшие сроки и без потерь осуществить передачу важной корпоративной информации.

Внедрение процессного управления — это сложный и трудоемкий процесс. Для успешного внедрения процессного подхода необходимо учитывать множество факторов. В компании, которая собирается внедрить процессный подход стоит оценить опыт предшественников и назначить специалиста по внедрению процессного подхода, который обладает соответствующими знаниями, опытом и пониманием процессов для эффективной работы. Данный специалист разрабатывает и корректирует методологию описания процессов, описывает и моделирует процессы в рамках существующей методологии, разрабатывает KPI (ключевые показатели эффективности) и методики их расчета. Для крупных специализированных компаний в рамках процессного подхода производится построение дерева целей и задач компании, связь с моделями бизнес-процессов, разработка BSC («Balanced Score-Card», система сбалансированных показателей).

Специалист по процессному управлению должен координировать работу всех отделов компании и прилагать усилия по обеспечению контроля качества выпускаемой продукции, работ и услуг по средством координации и контроля соответствующих специалистов. Специфика строительной отрасли заключается в особенностях конечного продукта, которым является готовый объект — здание или сооружение.

В данной статье представлены рассуждения о процессном управлении. Рассмотренные проблемы требуют детальной проработки и дальнейшего изучения. Исследования особенностей процессного управления в России будут представлены в диссертационном исследовании, выявленные результаты должны помочь строительному кластеру выйти на передовое место в российской экономике и составить конкуренцию на международном строительном рынке.

Литература

1. Рекомендации ИСО/ТК 176 Руководящие указания для малых организаций по внедрению системы менеджмента качества на основе ИСО 9001:2008 [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 54985-2012. Введ. 01.02.2013. М.: Стандартинформ, 2012. Режим доступа: <http://dokipedia.ru/document/5149346>. (Дата обращения: 26.02.2015).
2. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Электронный ресурс]: ГОСТ ISO 9000-2011. Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2012. Режим доступа: <http://sk5-410-lib-te.at.urfu.ru/docs/d?nd=1200093424>. (Дата обращения: 26.02.2015).

3. Собакарева А. В. Процессный подход и мероприятия по устранению проблем его внедрения на российских предприятиях. СПб: СПбГУ, 2008. 5 с.
4. Huang W. Business Process Rules Management: Challenges and Solutions [Electronic resource]: dissertation / W. Huang; Stevens Institute of Technology. New Jersey, 2007. 176 p. Mode of access: <http://ezproxy.urfu.ru:2151/docview/304746587/abstract/C30E4B98975E4E06PQ/1?accountid=30419> (Date of access: 26.02.2015.)
5. Wong W.P., Ahmad NH., NasurdinAM., Mohamad MN. The Impact of External Environmental on Business Process Management and Organizational Performance // Service Business. 2007. Vol. 8, Issue 4. P. 559–586.
6. Brocke vom J., Mathiassen L., Rosemann M. Business Process Management // Business & Information Systems Engineering. 2014. Vol. 6, Issue 4. P. 189–189.
7. Bitkowska A. The Orientation of Business Process Management toward the Creation of Knowledge in Enterprises // Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries. 2015. Vol. 25, Issue 1. P. 43–57.
8. Tuček D., Hrabal M. The Role of Human Factor in Business Process Management Projects // Tomas Bata University in Zlín. 2010. P. 1–10.

В. П. Лупеева, А. И. Подвысоцкий

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЦИАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ОРГАНОВ ВЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА)

Рассматриваются проблемы взаимодействия социально ориентированных некоммерческих организаций и органов власти в Свердловской области. Анализируются результаты опроса руководителей социально ориентированных некоммерческих организаций. Обозначаются самые актуальные и острые проблемы, возникающие при взаимодействии. Автор предлагает ряд рекомендаций по сглаживанию выявленных проблем.

Ключевые слова: *социально ориентированные некоммерческие организации, проблемы взаимодействия, органы власти, некоммерческий сектор, социальное партнерство.*

In the article the problems of interaction of socially oriented organizations and authorities are being examined. The results of a survey of managers of socially oriented non-profit organizations are analyzed. The most pressing and acute problems in the interaction are designated. The author proposes a number of recommendations to mitigate the identified problems.

Keywords: *socially-oriented non-profit organizations, problems of interaction, authorities, nonprofit sector, social partnership.*

Некоммерческий сектор в развитых странах представляет собой значительный и динамично развивающийся компонент общественной жизнедеятельности. В странах с социально ориентированным типом экономики благодаря третьему сектору государству удается эффективно справляться с множеством острых проблем, опираясь не только на аппарат государственного управления и бюджетные средства, но и на общественность, благотворительность и самодеятельность. Очевидно, что сегодня государство не может и не должно брать на себя решение всех проблем общества. Напротив, международный опыт доказывает, что гораздо эффективнее решать социальные проблемы консолидированно, передавать исполнение значительной части социальных услуг негосударственным организациям.

Современным российским обществом социальная роль некоммерческих организаций (далее - НКО) также была признана в качестве существенной, что привело к формированию определенных социальных ожиданий по отношению к ним. Тенденция смещения центра тяжести социальной ответственности от государства в сторону НКО привела к возникновению и законодательному закреплению в 2010 году понятия «социально ориентированные некоммерческие организации» [1], а также к формированию нормативно-правовой базы межсекторного взаимодействия.

На сегодняшний день в различных регионах России сложилась разнообразная практика взаимодействия органов власти и социально ориентированных НКО. Свердловская область и город Екатеринбург на текущий период вошли в число субъектов, уверенно лидирующих в процессах становления, укрепления и развития основных институтов современного гражданского общества. Третий сектор экономики представлен в Екатеринбурге всеми видами общественных объединений и некоммерческих организаций.

В 2012 году принят закон Свердловской области «О государственной поддержке некоммерческих организаций в Свердловской области» [2]. В 2012–2013 годах была реализована региональная комплексная программа «Поддержка социально ориентированных некоммерческих организаций в Свердловской области в 2012–2013 годах». Проводятся конкурсные процедуры отбора НКО, не являющихся государственными и муниципальными учреждениями, для предоставления субсидий из областного бюджета.

Тем не менее вопрос эффективности межсекторного взаимодействия по-прежнему стоит достаточно остро, а исследования, которые могут пролить свет на реальное положение дел в этой сфере, приобретают неоспоримую актуальность.

В апреле — мае 2014 года совместными усилиями авторов на базе кафедры социальной безопасности УрФУ было проведено исследование, целью которого являлось выявление основных проблем, возникающих в процессе взаимодействия органов власти и социально ориентированных НКО в городе Екатеринбурге.

В ходе исследования были проинтервьюированы руководители 30 социально ориентированных НКО города Екатеринбурга, занимающихся такой деятельностью как социальная поддержка семьи, материнства и детства; социальная поддержка молодежи, развитие молодежного движения и студенческого самоуправления; профилактика СПИДа, также других зависимостей; и другой деятельностью.

Что касается общей информации об исследованных организациях, то большая их часть существует от 11 до 15 лет. При этом почти в половине организаций работает всего от 1 до 4 постоянных сотрудников. Ни для кого не секрет, что часто НКО не могут позволить себе большое количество штатных сотрудников, а в основном привлекают волонтеров, поэтому такие данные вполне предсказуемы.

Прежде всего, респондентам предлагалось ответить на вопрос: «С какими органами власти у Вашей организации есть опыт взаимодействия?».

Таблица 1

Распределение ответов респондентов

Ответы на вопрос: «С какими органами власти у Вашей организации есть опыт взаимодействия?»	Количество ответивших
Министерство социальной политики Свердловской области	19
Администрация города Екатеринбурга	13
Уполномоченный по правам человека в Свердловской области	11
Министерство здравоохранения Свердловской области	9
Управление социальной защиты (по районам)	9
Уполномоченный по правам ребенка в Свердловской области	7
Министерство физической культуры, спорта, молодежной политики Свердловской области	6
Министерство общего и профессионального образования Свердловской области	5
Правительство Свердловской области	5
Общественная палата Свердловской области	4
Органы опеки и попечительства	4
ГУ Министерства внутренних дел по Свердловской области	3
ГУ Федеральной службы исполнения наказаний	3
Департамент по труду и занятости населения Свердловской области	3
Законодательное собрание Свердловской области	2
Управление Федеральной миграционной службы	2
Министерство культуры Свердловской области	1

Судя по распределению ответов (табл. 1), перечень органов власти достаточно широк: здесь можно встретить как органы власти местного самоуправления, так и органы государственной власти Свердловской области. В первом случае наибольшее количество НКО взаимодействуют с Администрацией города Екатеринбурга, во втором случае лидером является Министерство социальной политики Свердловской области и Уполномоченный по правам человека в Свердловской области.

Помимо этого мы попытались выяснить мнение руководителей НКО о том, насколько легко или тяжело шли на контакт те или иные органы власти. Среди органов власти, с которыми руководителям НКО удалось легко найти общий язык лидирующие позиции заняли Уполномоченный по правам ребенка в Свердловской области, а также Уполномоченный по правам человека в Свердловской области. Противоположного мнения респонденты придерживаются о Министерстве политики Свердловской области и Министерстве здравоохранения Свердловской области: эти органы власти являются самыми закрытыми для контакта. Также упоминались в перечне «закрытых» ведомств Министерство общего и профессионального образования, Министерство культуры и органы опеки и попечительства.

Одним из ключевых был вопрос о проблемах, с которыми сталкивались руководители НКО при взаимодействии с органами власти. Обратимся к ответам респондентов (табл. 2).

Таблица 2

Распределение ответов респондентов

Ответы на вопрос: «С какими проблемами сталкивалась Ваша организация при взаимодействии или попытке наладить взаимодействие с органами власти?»	Количество ответивших
Отсутствие преемственности среди представителей органов власти	19
Отсутствие долгосрочной перспективы сотрудничества	12
Нежелание чиновников предпринимать усилия	7
Некомпетентность чиновников	7
Отсутствие открытой информации	5
Не сталкивались с проблемами	4
Сложная система отчетности (при получении гранта, субсидии)	3
Бюрократические барьеры	3
Разные взгляды на то, как решать проблему	1

Как мы видим, наиболее часто упоминаемой проблемой является отсутствие преемственности среди представителей органов власти. Суть данной проблемы заключается в следующем. Нередко руководителям НКО приходится потратить много сил и времени на то, чтобы тот или иной чиновник признал НКО и начал взаимодействовать с ней, но если данный чиновник покидает свой пост, все труды часто оказываются напрасными — все приходится начинать с нуля. Исключение составляют НКО, которые уже завоевали хорошую репутацию и зарекомендовали себя как надежный партнер, им наладить взаимодействие будет нетрудно.

Еще одной проблемой является отсутствие долгосрочной перспективы сотрудничества. Экономическая поддержка со стороны органов власти в основном предоставляется на проектную деятельность, и ни одна НКО не может быть застрахована от того, что на следующий год на этот же проект ей придется либо искать негосударственные источники финансирования, либо заморозить проект. С одной стороны, это проблема для НКО, но с другой стороны, возможно, именно из-за постоянной конкуренции, борьбы за финансовую поддержку СО НКО не расслабляются и показывают отличные результаты, разрабатывают все больше инновационных проектов.

Одинаковое количество респондентов (7 человек) отметили, что сталкивались как с некомпетентностью чиновников, так и с их нежеланием предпринимать какие-либо усилия.

Также руководителям был задан открытый вопрос: «Что следует предпринять органам власти для улучшения взаимодействия с некоммерческими организациями?». Обратимся к табл. 3.

Таблица 3

Распределение ответов респондентов

Ответы на вопрос: «Что следует предпринять органам власти для улучшения взаимодействия с некоммерческими организациями?»	Количество ответивших
Стать более открытыми для взаимодействия с НКО	11
Сделать информацию более открытой	10
Добиться заинтересованности чиновников в улучшении взаимодействия	7
Прислушиваться к НКО	5
Встречаться, обсуждать проблемы и технологии их решения	3
Ликвидировать коррупцию	3

Треть респондентов, ссылаясь на определенную закрытость органов власти, рекомендует им стать более открытыми. Эти же респонденты как бы сетуют на недоступность информации, опять же предлагая сделать ее более открытой. Часть руководителей призывают добиться заинтересованности чиновников в улучшении взаимодействия, при этом не уточняя как и кто должен делать.

В целом вопреки ожиданиям предложения, высказанные респондентами, носят общий характер и не содержат никаких конкретных мер.

Помимо этого мы спросили у руководителей, какие факторы, на их взгляд, влияют на выбор органами власти НКО в качестве социальных партнеров?

Таблица 4

Распределение ответов респондентов

Ответы на вопрос: «Какие факторы влияют на выбор органами власти НКО в качестве социальных партнеров?»	Количество ответивших
Личное знакомство, связи	16
Коррупция среди чиновников	14
Масштабность деятельности НКО	14
Профиль организации	8
Опыт взаимодействия в прошлом	4

Как видно из табл. 4, больше половины опрошенных респондентов считают, что личное знакомство и связи играют определяющую роль при выборе НКО со стороны органов власти. На взгляд авторов, подобные высказывания необязательно являются крамольными, поскольку любое взаимодействие всегда подразумевает личный контакт представителей двух сторон. Если чиновник уже знаком с директором какой-либо некоммерческой организации, уже имеется положительный опыт взаимодействия между ними, то неудивительно, если первый (при прочих равных условиях) будет склоняться в пользу последнего, например, при выделении гранта. Таким образом, чиновник идет по проторенному пути, что не так ресурсозатратно и менее рискованно. С другой стороны, это осложняет жизнь молодым организациям, которым еще только предстоит заслужить доверие.

Следующим по популярности является вариант «коррупция среди представителей органов власти» — 14 человек. Однако при этом, ни один руководитель

при ответе на дополнительный вопрос: «Сталкивались ли Вы лично (Ваша организация) с ситуацией, когда представители органов власти предпринимали действия, которые можно было бы классифицировать как коррупцию?», не ответил утвердительно. Это может быть связано с тем, что они просто транслируют расхожее в обществе, но не всегда справедливое мнение — чиновник и коррупция неразрывно связаны между собой.

Напротив, мнение респондентов о том, что «большую роль играет масштабность деятельности НКО», является вполне закономерным. Для органов власти взаимодействие с НКО неразрывно связано с определенными рисками, поэтому они стремятся иметь дело с проверенными социальными партнерами.

Почти треть руководителей (8 человек) высказали мнение, что одним из определяющих факторов выступает профиль организации, или иными словами, оказание помощи той или иной категории граждан. Так например, на взгляд одного из респондентов, «получить поддержку организации, занимающейся профилактикой семейного неблагополучия, гораздо труднее, чем организации, оказывающей поддержку инвалидам или ветеранам». Подобный перекося действительно существует, и зависит он в первую очередь от размеров финансирования той или иной статьи бюджета.

В ходе исследования руководителям некоммерческих организаций были заданы и другие не менее важные вопросы, которые невозможно уместить в данной статье.

В завершение необходимо отметить, что тема взаимодействия социально ориентированных некоммерческих организаций и органов власти на современном этапе развития общества является весьма актуальной, а дефицит исследований, посвященных ей, по-прежнему достаточно высок.

Литература

1. Баталова Ю. В. Взаимодействие негосударственных некоммерческих организаций с органами государственной власти и управления в России / Дис. ... канд. полит. наук: 23.00.02: М., 2004. 249 с. РГБ ОД, 61:04-23/312.
2. Закон Свердловской области от 27 января 2012 года № 4-ОЗ «О государственной поддержке некоммерческих организаций в Свердловской области».
3. Якимец В. Н. Межсекторное социальное партнерство: теория, механизмы, технологии, практика. Учебное пособие. ТАСИС. М.: 2004.

Е. Е. Медведева, Ю. С. Шапошникова

СОЦИАЛЬНОЕ КУРАТОРСТВО КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Статья посвящена рассмотрению актуальных вопросов реализации инклюзивного образования в условиях учреждений системы профессионального образования, определению роли социального кураторства в формировании инклюзивного образования.

Ключевые слова: *инклюзия, инклюзивное образование, социальное кураторство.*

This article is devoted to consideration of topical issues of realization of inclusive education in the conditions of establishments of system of professional education, definition of a role of a social coaching in formation of inclusive education.

Keywords: *inklyuziya, inclusive education, social coaching.*

Специалисты, работающие в сфере профессионального образования, все чаще сталкиваются с вопросами организации процесса обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья. По данным Федеральной службы государственной статистики на 2014 год 36,3 % родителей ориентированы на продолжение обучения ребенка-инвалида в учреждениях высшего профессионального образования. Дети-инвалиды и дети с ограниченными возможностями в Национальной стратегии действий в интересах детей относятся к категории, нуждающейся в особой заботе государства. Основной из мер по защите прав и интересов данной категории является замена медицинского подхода к определению инвалидности на социальный подход — т. е. создание нормальной полноценной жизни, которая возможна в том числе за счет создания и развития системы инклюзивного образования [3].

Инклюзия, с одной стороны, это такая практика включения человека в культуру и социум (включение человека в его соотнесенности с референтной группой), которая способствует культурному обогащению как самого человека, так и всей культуры данного социума. Это понятие, предложенное в социальной философии, опирается на понятие включающего общества. С другой стороны, инклюзией также называют включение ребенка с ОВЗ в учебный коллектив здоровых сверстников в соответствии с его правом на образование. Подобная инклюзия может быть реально обеспечена или не обеспечена с помощью средств, необходимых для реального осуществления права на образование [6]. Стоит отметить, что термин «инклюзивное образование» в российской практике стал использоваться относительно недавно: в советской России было принято использовать такие термины, как «специальное обучение», «коррекционное образование» и т. п. Сегодня под инклюзивным образованием понимают процесс обучения детей с особыми

потребностями в образовательных учреждениях. Данный термин закреплен в федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» и под инклюзивным образованием понимают обеспечение равного доступа к образованию для всех обучающихся с учетом разнообразия особых образовательных потребностей и индивидуальных возможностей [2]. Обучающийся с ограниченными возможностями здоровья по данному закону — физическое лицо, имеющее недостатки в физическом и (или) психологическом развитии, подтвержденные психолого-медико-педагогической комиссией и препятствующие получению образования без создания специальных условий.

Организация и обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья регулируется статьей 79 федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ в которой предусмотрено, что профессиональными образовательными организациями и образовательными организациями высшего образования, а также организациями, осуществляющими образовательную деятельность по основным программам профессионального обучения, должны быть созданы специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья [2].

В число специальных условий входит организация доступной среды и процесса обучения. Доступная среда для людей с ограниченными возможностями здоровья — создание технических условий, которые позволили бы лицам с ограниченными возможностями здоровья стать полноценными участниками образовательного процесса. Организация доступной среды в различных образовательных учреждениях идет с большим или меньшим успехом.

Важной частью образовательного процесса является процесс обучения, которому в системе инклюзивного образования также уделяется значительное внимание: от обучения педагогов особым образом организовывать процесс обучения до разработки и внедрения адаптации образовательных программ. Адаптированная образовательная программа — образовательная программа, адаптированная для обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья с учетом особенностей их психофизического развития, индивидуальных возможностей и при необходимости обеспечивающая коррекцию нарушений развития и социальную адаптацию указанных лиц [2].

При внедрении системы инклюзивного образования часто забывают о том, что в будущем студенту с ограниченными возможностями здоровья придется взаимодействовать с окружающими его студентами, преподавателями и другими сотрудниками образовательного учреждения.

В Национальной стратегии действий в интересах детей особым образом отмечается необходимость создания условий для социализации детей-инвалидов и детей с ограниченными возможностями здоровья с внедрением их в среду здоровых сверстников и обеспечением их участия в культурной и спортивной жизни и других массовых мероприятиях [3].

В Стратегии государственной молодежной политики также одной из целей выделяется вовлечение в полноценную жизнь молодых людей, которые испытывают проблемы с интеграцией в обществе, в число которых входят инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья [5].

Возникает вопрос, как организовать процесс вовлечения студентов с ограниченными возможностями здоровья в активную социальную жизнь, обеспечить эффективное взаимодействие студентов всех категорий друг с другом. Очень важно, чтобы студент с ограниченными возможностями здоровья был полностью включен во все сферы студенческой жизни: не только в образовательный процесс, но и в научную, творческую, спортивную и другие сферы.

В процессе социальной адаптации студентов различных категорий, например иностранные студенты или студенты первокурсники, назначаются специальные кураторы, наставники, тьюторы и т. п., основной задачей которых является создание условий для наиболее быстрой и благоприятной адаптации студентов к обучению и социальной деятельности в образовательном учреждении.

Так и студенты с ограниченными возможностями здоровья нуждаются в таком кураторе, с той лишь разницей, на наш взгляд, что в данном случае куратор — не просто назначенный преподаватель или студент старшего курса, это человек, который знаком с особенностями работы с такими людьми с психологической, этической и социально-бытовой точек зрения.

В связи с этим, мы считаем, что необходимо создание целой команды людей — социальных кураторов для людей с ограниченными возможностями здоровья. Деятельность социальных кураторов должна заключаться, на наш взгляд, не только в сопровождении студентов с ограниченными возможностями здоровья, но и в организации мероприятий для обеспечения взаимодействия таких студентов с остальным студенческим сообществом, а также в организации комплекса мероприятий информационно-образовательного характера, для подготовки студентов, преподавателей и других сотрудников к взаимодействию со студентами с ограниченными возможностями здоровья.

В заключение хотелось бы еще раз отметить, что инклюзивное образование — это процесс, который должен охватывать все сферы жизни студента, с ограниченными возможностями на территории образовательного учреждения: не только непосредственно процесс обучения, но и спортивную, научную, культурную и социальную сферы.

Литература

1. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 г. (с внесенными поправками от 21.07.2014 г.) // Российская газ. 1993. 25 дек.
2. Об образовании в Российской Федерации: федер. закон: [принят Гос. Думой 29 декабря 2012: по состоянию на 04 июня 2014 г.] // Собрание законодательства РФ. 31.12.2012. № 53 (ч. 1). Ст. 7598.

3. Национальная стратегия действий в интересах детей на 2012–2017 годы (утв. указом Президента РФ от 1 июня 2012 г. № 761).
4. Государственная программа Российской Федерации «Доступная среда» на 2011–2015 годы (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 17 марта 2011 г. № 175) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2011. № 13. Ст. 1765.
5. Стратегия государственной молодежной политики в РФ до 2016 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2006 г. № 1760-р).
6. Образование без границ. Информационно-методический портал по инклюзивному и специальному образованию, Москва. Режим доступа: <http://www.edu-open.ru>.

М. Р. Сарыев

ИСТОРИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНВАЛИДОВ В США

В статье пишется о том, как изменилось отношение к инвалидам в США после Второй мировой войны. Как активная борьба за права инвалидов повлияла на развитие социальной поддержки инвалидов. Также представлены основные направления социальной поддержки людей с ограниченными возможностями здоровья.

Ключевые слова: *права человека, социальная поддержка инвалидов, вспомогательная техника, социализация, адаптация.*

This article demonstrates how attitude towards people with disabilities in the USA has changed after the Second World War. It shows how active struggle for the rights of disabled people affected the development of social support for them. The article also presents the primary ways of support for people with disabilities.

Keywords: *human rights, social support for people with disabilities, assistive technology, socialization, adaptation.*

В США отношение общества к инвалидам отличается от такового в России. Это стало возможным благодаря активным действиям людей с ограниченными возможностями здоровья в 40–60-е годы XX столетия. Если бы не их активная жизненная позиция и желание изменить свои условия жизни, то условия жизни инвалидов были бы сегодня иными.

Социальная активность людей с ограниченными возможностями здоровья зародилась в США сразу после Второй мировой войны. Многие солдаты, участвовавшие в войне, вернулись домой инвалидами — они лишились конечностей, приобрели другие ограничения здоровья в связи с военными действиями. Но по возвращению на родину они стали национальными героями, общество восхищалось их подвигом, люди выражали свое уважение к тем, кто боролся за свою страну ценой собственной жизни.

В то же время люди, которые имели уже какие-то ограничения здоровья, воспринимались народом совсем иначе — попросту игнорировались и не замечались. Тогда они увидели, какое отношение было к солдатам, и захотели того же. Именно это желание быть включенными в общество и общественную жизнь стало толчком к зарождению движения за права инвалидов.

В 1964 году вышел закон о защите прав меньшинств — в первую очередь, темнокожего населения США, но там не было ни слова об инвалидах. И это зародило бурю. Идейными вдохновителями движения за права инвалидов стали Эрик Робертс и Фред Фейн — оба они получили инвалидность уже в сознательном возрасте, после окончания школы, до этого момента они были абсолютно обычными людьми.

После несчастного случая они оказались лишены привычной жизни, но не захотели с этим мириться, решив начать борьбу за доступную среду жизни.

Важным достижением в истории борьбы инвалидов за свои права было создание Архитектурного акта в 1968 году. В соответствии с ним каждое здание, построенное на государственные деньги, должно быть доступно для посещения всеми гражданам США, вне зависимости от каких-либо ограничений здоровья. Ожесточенная борьба развернулась среди инвалидов, чтобы этот акт был принят. Толпы инвалидов вставали со своих колясок прямо перед Белым домом и ползли по лестнице к его входу. Они приковывали себя цепями внутри зданий, образуя цепочки длиной в сотню человек, но в конечном счете добились своего — акт был принят.

Следующим шагом стал Акт о реабилитации, принятый в 1973 году. Любая правительственная организация должна была обеспечить возможность пользования своими услугами всем гражданам, вне зависимости от их физических ограничений. Правда, касалось это только государственных организаций, но тем не менее это был большой шаг вперед.

Особенности развития реабилитации инвалидов всегда находятся под воздействием специфических условий развития каждой отдельной страны. В качестве сравнения мы хотели бы описать американскую систему социального обслуживания инвалидов как одну из наиболее совершенных и развитых в современном мире.

Американский тип социального обслуживания характеризуется тем, что инвалиды обеспечиваются пенсией, а также страхованием от несчастных случаев. Специальное медицинское обслуживание предусмотрено для всех инвалидов, в том числе и нетрудоспособных.

На основании законов об обеспечении инвалидов и лиц, имеющих недостатки умственного развития, местные органы власти США в пределах своей территории отвечают за социальную поддержку инвалидов. Практически она осуществляется с помощью специализированных инвалидных организаций и фондов, т. к. муниципалитеты (за плату) привлекают их для оказания инвалидам значительной части положенных по закону услуг. Основными среди услуг являются: жилищно-бытовое устройство, транспорт, предоставление работы, обучение, адаптация, выплата специальных пособий и компенсаций. Последние предусмотрены для проведения мероприятий социально-реабилитационного характера, способствующих повышению дееспособности инвалида, а также компенсации на протезирование, профессиональную подготовку или общее образование.

Специальная адаптационная подготовка направлена на то, чтобы инвалид смог приспособиться к жизни со своим увечьем. В нее включено обучение пользования различными техническими средствами, которые предусмотрены для поддержки данной категории граждан. Чаще всего к адаптационной подготовке бывают привлечены близкие человека, а также его родственники. Основная ее задача — обеспечение психологической и социальной самостоятельности индивида.

Подготовка к труду должна упростить трудоустройство инвалида, а также пробудить в нем интерес к работе, чтобы человек впоследствии мог добиться высоких результатов в своей трудовой деятельности. Помощь инвалиду в обустройстве жилья направлена на создание условий для нормального и независимого быта, самообслуживания.

Переустройство квартиры, приобретение специальных приспособлений позволяет наладить жизнь дома, а не в каком-либо стационарном учреждении. Максимально уменьшить или полностью устранить неудобства — основная цель перестройки квартиры. К приспособлениям, которые обеспечивают дееспособность инвалида, относятся специально оборудованный автомобиль, специальная приставки к телевизору, устройства, позволяющие заниматься физкультурой и спортом. На приобретение всех этих средств инвалиду выплачиваются специальные пособия.

Транспортные услуги, которые тоже входят в компетенцию социальных служб, оказываются людям с тяжелыми формами болезни и заключаются в доставке человека на работу, в учебные заведения, спортивно-физкультурные комплексы, учреждения культурной направленности и т. д.

В США радикально изменилось само представление об инвалидности — инвалиды хотят, чтобы их внутренний потенциал, а именно способности и изобретательность, определяли перспективы их развития, а не физические ограничения здоровья. Естественно, они испытывают некоторые неудобства в связи со своим недугом, но современные технологии, глубоко вошедшие в нашу обыденную жизнь, вкуче с усилиями лучших конструкторов, предпринимателей и инженеров помогают людям жить насыщенной жизнью.

Создание подобных устройств, именуемых вспомогательной техникой, стало одним из приоритетных направлений развития технологий в США. Производство и разработка такой техники официально поддерживаются правительством США, что свидетельствует о признании значимости этих приспособлений государством. Количество выпускаемой вспомогательной техники растет с каждым годом, а ее качество контролируется высочайшими стандартами. Сам термин «вспомогательная техника» определяется в законодательстве как «любое изделие, деталь оборудования или готовая система, которое используется для того, чтобы повышать, поддерживать или улучшать функциональные способности людей с инвалидностью».

Конгрессом США в 1988 году был принят закон о помощи людям с инвалидностью с использованием технических средств, так называемый Тек Акт, в котором все физические ограничения признаются «естественным элементом человеческого существования, никоим образом не умаляющим права каждого на независимость, самоопределение, содержательную карьеру или полное участие в общей экономической, политической, социальной, культурной и образовательной жизни американского общества». Закон об образовании предусматривает неотъемлемое право

каждого школьника на использование вспомогательных средств, необходимых ему для получения образования.

Для претворения всех этих прав в жизнь Тек Акт в обязательном порядке выделяет всем штатам бюджетные средства на учреждение программ и проектов по информированию граждан об уже имеющихся устройствах, а также предлагает помощь в выборе и получении подходящих для каждого устройств. Все штаты имеют особую службу или программу ВТ (здесь и далее «вспомогательная техника»).

Штатам выдаются гранты, а также поощряется любая исследовательская работа в области развития и совершенствования таких приспособлений из средств Национального института по исследованиям в области инвалидности и реабилитации, который поддерживается Министерством образования США. К этой работе также подключен Департамент по делам ветеранов США. Для обеспечения доступности всего богатства новых изобретений при поддержке Министерства образования была создана база данных, включающая в себя список более 2400 вспомогательных изделий, производящихся в промышленных масштабах.

Исследования доказывают эффективность применения ВТ, которая выражается в первую очередь в повышении независимости и удовлетворенности людей с ограниченными возможностями здоровья. Так, например, Национальный совет по делам людей с инвалидностью в 1993 году провел опрос, который выявил следующие результаты: почти 75 % опрошенных школьников могут обучаться в обычных классах, в то время как 45 % пользуются значительно меньшим количеством услуг, связанных с посещением занятий. Также 65 % опрошенных взрослых заявили, что теперь менее зависят от членов своих семей, 58 % пользуются гораздо меньшим объемом платной помощи, а 37 % людей даже отметили рост своей заработной платы.

С помощью использования ВТ 80 % опрошенных людей пожилого возраста отметили меньшую зависимость от своих родственников, более половины из них не нуждаются больше в том объеме платной помощи, в каком нуждались ранее, а половина живет в своих квартирах, а не в домах престарелых.

В работу по совершенствованию вспомогательной техники вовлекаются профессионалы самых различных областей знаний. Непосредственно разработка и изготовление вспомогательной техники находятся в ведении двух организаций национального уровня — Североамериканского общества реабилитационной технологии и вспомогательной техники и Ассоциации индустрии вспомогательной техники. В Ассоциацию индустрии вспомогательной техники входит более 50 фирм и компаний, предоставляющих всевозможные устройства для инвалидов. Это первая в мире профессиональная организация подобного рода, ее создание датируется 1998 годом.

В связи с ростом числа и сложности приспособлений становится трудным определить преимущества новых устройств, а тем более объяснить

это потенциальным покупателям, чтобы они сделали наилучший для себя выбор. Для решения этой проблемы в университетах открываются специальные образовательные программы. Например, один из университетов г. Нортриджа, штат Калифорния, уже принимает людей на программу по вспомогательной технике. Прохождение программы подтверждается сертификатом государственного образца, что дает право работать в этой области. В г. Иллинойсе, штат Чикаго, можно получить степень доктора философии в области изучения инвалидности. В настоящее время создано новое отделение инвалидности и развития человека, которое выпускает и магистров.

Множество американских компаний, поставляющих сегодня на рынок вспомогательную технику, предлагает все — от самых современных компьютеров и программ до изящных фасонов одежды для людей с инвалидностью.

Средства ВТ подразделяются на 10 основных категорий.

1. Приспособления для помощи в повседневной жизни с такими чисто бытовыми функциями, как приготовление пищи, питание, мытье, одевание и работа по дому.

2. Средства, усиливающие коммуникацию, и альтернативные средства коммуникации позволяют людям, имеющим ограниченные речевые возможности или не имеющим их вовсе, общаться с другими, как в выражении собственных мыслей, так и в восприятии слов окружающих.

3. Устройства для управления компьютером удовлетворяют потребности тех, кто не может пользоваться обычными клавиатурами, мышками и экранами.

4. Системы контроля окружающей среды дают возможность управлять бытовыми приборами, системами безопасности и т. п.

5. Модификации для дома и рабочего места, такие, как скаты, подъемники, переоборудованные ваннные комнаты или иные обустройства помещений, уменьшают или устраняют различные барьеры.

6. Протезы и иные ортопедические изделия заменяют, усиливают или замещают отсутствующие или имеющие недостатки части тела или улучшают когнитивные функции, служа напоминанием или подсказкой.

7. Устройства для сидения и перемены позы улучшают устойчивость, опору и другие характеристики инвалидных колясок и других систем для сидения:

8. Приспособления для людей с ослабленным зрением повышают или заменяют способность видеть предметы.

9. Приспособления для людей с ослабленным слухом повышают или заменяют способность слышать в самых разнообразных ситуациях.

10. Мобильные приспособления повышают возможности людей передвигаться.

11. Наконец, модификации автомобилей повышают возможности людей пользоваться транспортными средствами.

И каким бы ни было конкретное приспособление, все они имеют одно и то же назначение — позволить людям с разного рода инвалидностью жить более успешной, продуктивной и доставляющей удовольствие жизнью.

Помимо возможности управлять аппаратурой или инструментами, инвалидам, как и всем людям, необходима способность заботиться о собственной внешности, что резко повышает уверенность в себе и облегчает общение. Например, мужчины и женщины, пользующиеся колясками, часто видят, что одежда, предназначенная для людей, которые могут стоять и ходить, в сидячем положении некрасива и неудобна. И такие модификации, как изменение длины рубашки или юбки, покрой брюк шире в бедрах или длиннее в ширинке, разрезы сбоку и удлиненная спина у туник и блузок помогают сидящему человеку в этой одежде выглядеть более опрятно и стильно и чувствовать себя гораздо удобнее. Большое количество компаний предлагает модели одежды для колясочников на любой случай — от деловых встреч и официальных приемов до поездок в магазин.

Особое внимание в США уделяется детям-инвалидам, которые растут так же, как и дети без каких-либо ограничений, точно также нуждаются в полноценном психическом и умственном развитии, насколько это позволяет их недуг.

Из общего числа в 20,7 млрд долларов, которые ежегодно тратятся на игрушки, два миллиарда долларов тратится на игрушки для детей-инвалидов. Компания Mattel Inc пару лет назад представила новую куклу-подругу Барби Беки. В комплекте к ней прилагается инвалидная коляска.

Первая модель по цене в 25 долларов была продана через две недели после выхода, а спрос на нее превзошел все мыслимые ожидания: продано уже свыше 200 000 экземпляров новой куклы. Теперь фирме-производителю пришлось столкнуться с еще более сложной задачей — для Барби в инвалидной коляске потребовалось разработать совершенно иную конструкцию дома.

Примерно тогда же компания People of Every Stripe стала выпускать кукол в очках, со слуховыми аппаратами и различными протезами. А рынок игрушек для слепых за последние несколько лет возрос с 20 000 экземпляров в год до 80 000. Для слепых детей конструировать игрушки отнюдь не так просто, как кажется, ведь этих детей интересуют фактуры и текстуры материалов, из которых сделаны куклы. Эта же компания выполняет индивидуальные заказы, например для девочки, которая в результате перенесенной химиотерапии полностью потеряла свои волосы.

Подобные игрушки имеют важное значение. Играть с куклами-инвалидами выражают желание вполне здоровые и благополучные дети, что говорит об изменении массового сознания, а не одного конкретного человека или ребенка. То, за что когда-то боролись американские инвалиды, — быть равноправными членами общества, ходить по улицам, не замечая на себе удивленных и полных ужаса взглядов прохожих, активно участвовать в общественной жизни Америки — стало не абстрактной мечтой, а вполне конкретной реальностью. Реальностью, когда люди с физическими или иными ограничениями, могут вести полную ярких эмоций

и насыщенную событиями жизнь, почти не ощущая своего недуга. И так должны чувствовать себя люди с ограничениями здоровья в любом обществе любой страны земного шара.

Включение людей с ограниченными возможностями здоровья в активную социальную жизнь также является своеобразным прорывом в отношении системы работы с инвалидами.

Люди с ограниченными возможностями здоровья хотят быть полноценной частью общества: ведь быть отделенными — значит быть вне общества, в изоляции. Здоровые люди об этом часто не задумываются, но на самом деле мы не так уж сильно отличаемся от людей с ограниченными возможностями здоровья. Всего на одну болезнь, на один несчастный случай, на одно роковое стечение обстоятельств.

Таким образом, анализ опыта США по социализации инвалидов позволил нам выделить наиболее перспективные направления и технологии работы с людьми с ограниченными возможностями здоровья

Литература

1. Басов Н. Ф. Социальная работа с инвалидами. КноРус, 2012.
2. Жигарева Н. П. Комплексная реабилитация инвалидов. Дашков и Ко, 2011. 216 с.
3. Дементьева Н. Ф., Старовойтова Л. И. Социальная работа в учреждениях социально-реабилитационного профиля и медико-социальной экспертизы. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 272 с.
4. Ткаченко В. С. Медико-социальные основы независимой жизни инвалидов. Дашков и Ко, 2010. 384 с.
5. Кузьмин К. В., Сутырин Б. А. История социальной работы. М., 2006.
6. 'Lives Worth Living', Eric Neudel, Alison Gilkey, Storyline Motion Pictures & Independent Television Service (ITVS), October 27.2011.

Е. А. Сермягина, А. С. Поршнева

СОСТАВЛЕНИЕ АССОЦИАТИВНОГО ПОЛЯ КОНЦЕПТА «СЕМЬЯ» В РУССКОМ ЯЗЫКЕ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ СВОБОДНОГО АССОЦИАТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В данной работе описываются результаты свободного ассоциативного эксперимента среди носителей русского языка. Целью эксперимента было составление ассоциативного поля концепта «семья» в русском языке, а также классификация и анализ полученных реакций. Эксперимент показал, что среди наиболее частотных реакций на стимул «семья» — слова, указывающие на функции семьи, связанные с заботой об индивидуе, на особенности и состав семьи, а также на значение семьи в жизни человека.

Ключевые слова: ассоциативный эксперимент, ассоциативное поле, семья, концепт.

The given work describes the results of a free associative experiment conducted among native speakers of the Russian language. The aim of the experiment was to form the associative field of the “family” concept in the Russian language and to classify and analyze the reactions obtained. The experiment showed that the most frequent reactions to the stimulus “family” include words related to the functions of the family in terms of providing care for an individual, the characteristics and composition of the family, and the significance of the family in a person’s life.

Keywords: associative experiment, associative field, family, concept.

Для составления ассоциативного поля концепта «семья» в русском языке был проведен свободный ассоциативный эксперимент среди носителей языка в письменной форме (путем анкетирования). Анкета состояла из 50 стимулов, 42 из которых являлись фоновыми, относились к различным частям речи и были выбраны с помощью словаря частотности. В качестве этих стимулов были подобраны слова, находящиеся не ниже двухтысячной позиции в частотном списке лемм на русском языке (по данным Нового частотного словаря русской лексики О. Н. Ляшевской и С. А. Шарова [2]): *работа* (87), *друг* (106), *праздник* (1049), *большой* (96), *бежать* (824), *любить* (181), *зеленый* (958), *кино* (1219), *книга* (230), *терять* (1648), *голос* (221), *последний* (130), *счастье* (784), *писать* (213), *зима* (1147), *молодой* (241), *помнить* (269), *боль* (1065), *оставаться* (304), *надеяться* (876), *рука* (74), *сильный* (490), *море* (720), *закон* (217), *военный* (373), *платить* (1259), *видеть* (113), *жизнь* (66), *старый* (264), *лес* (512), *свободный* (786), *хотеть* (92), *спать* (486), *компьютер* (1909), *дом* (118), *тишина* (1619), *взгляд* (308), *думать* (123), *смысл* (346), *белый* (290), *роль* (340), *забыть* (478).

Восемь стимулов, включая стимул «семья» и родственные ему концепты (*отец, мать, муж, жена, мужчина, женщина, ребенок*), являются непосредственным объектом данного и последующих исследований. Все стимулы были расположены

в анкетах в произвольном порядке, чтобы снизить вероятность определения испытуемыми цели эксперимента, что могло бы привести к искажению его результатов.

Респондентам предлагалось к каждому слову из списка написать первую ассоциацию, которая приходит в голову при прочтении данного слова. В эксперименте приняли участие 118 респондентов различного возраста и рода занятий, являющихся носителями русского языка. Все полученные реакции на выбранные стимулы были упорядочены по частотности (чтобы сформировать ассоциативные поля и выделить их ассоциативные ядра) и классифицированы по грамматическому признаку, логически и тематически.

В ходе проведения эксперимента на стимул «семья» было получено 117 реакций и 1 отказ от реакции. Среди всех реакций была зафиксирована 71 различная реакция и 57 единичных реакций. За ассоциативное ядро ассоциативного поля были приняты реакции, доля которых составляет более 2 %. Таким образом, ассоциативное ядро составляют следующие реакции: *любовь* — 9 раз (7,7 %), *дом* — 8 раз (6,8 %), *большая* — 7 раз (6,0 %), *дети* — 6 раз (5,1 %), *крепкая* — 6 раз (5,1 %), *дружная* — 5 раз (4,3 %), *опора* — 4 раза (3,4 %), *поддержка* — 3 раза (2,6 %), *счастье* — 3 раза (2,6 %).

По этим данным сразу заметна тенденция к положительной характеристике концепта «семья» как группы близких и любящих людей, на которых можно положиться и наличие которых, по представлениям респондентов, делает индивида счастливым. При этом важным фактором, очевидно, является структура семьи: стереотипная семья представляется большой, с обязательным наличием детей, которые являются ее определяющим элементом, или же целью: семья создается для того, чтобы вырастить детей. Кроме того, семья, по-видимому, в сознании носителей русского языка представляет собой единое целое, а поэтому неразрывно связана с домом — общей территорией, на которой проходит совместная жизнь членов семьи. Так, необходимым условием, при котором группа людей может называться семьей, является отсутствие их территориального разделения. С другой стороны, частотность данной реакции можно объяснить тем, что место, где живут члены семьи, олицетворяет для человека уют, комфорт и защищенность, а следовательно, может называться домом.

По грамматической классификации было выделено 33 синтагматических ассоциации (28,2 %), например, «*вместе*», «*вокруг*», «*всегда*», «*едина*», 73 парадигматических ассоциации (62,4 %), например, «*очаг*», «*достаток*», «*мать*», «*отношения*», и 11 ассоциаций, представляющих собой словосочетания или группы слов (9,4 %), например, «*бесконечный ресурс для банков для навязывания ипотеки*», «*близкие люди*», «*обеденный стол*», «*мама, папа, я*». Данное соотношение в целом соответствует стандартным показателям для взрослых носителей языка, приведенным Т. В. Поповой, которая полагает, что нормой является преобладание парадигматических реакций, доля которых должна составлять около 70 % [1, с. 21].

Согласно логической классификации, полученные реакции можно разделить на центральные (если между стимулом и реакцией обнаруживается сильная содержательная связь) и периферические (если такая связь не обнаруживается либо проявляется на уровне несущественных компонентов лексического значения) [1, с. 20]. Среди ассоциаций были обнаружены 95 центральных (81,9 %), например, «родители», «мама», «узы», и 21 периферическая (18,1 %), например, «Нои», «пес», «сок», «елка», что также соотносится с уровнями, упомянутыми Т. В. Поповой, согласно которой центральных реакций должно быть не менее 65 % [1, с. 21].

Следует также провести тематическую классификацию полученных ассоциаций. В построенном ассоциативном поле можно выделить несколько смысловых подгнезд. Мы сгруппировали реакции по следующим основным подгнездам.

Таблица 1

*Смысловые подгнезда ассоциативного поля концепта «семья» в русском языке
(расположенные в порядке убывания удельного веса)*

Название гнезда	Примеры реакций	Кол-во реакций в гнезде	Уд. вес гнезда, %
Функции семьи — то нематериальное, что семья обеспечивает для человека	Опора, поддержка, забота, гармония	31	26,5
Характеристики семьи	Большая, крепкая, дружная	29	24,8
Члены (состав) семьи	Мать, ребенок, родня	15	12,8
Всеобъемлющий характер и особое значение семьи	Вечность, все, мое все, всегда	9	7,7
Совместное времяпрепровождение	Елка, обеденный стол, стол, телевизор	4	3,4
Ассоциации, непосредственно не связанные с концептом «семья», освещающие те или иные реалии и факты современной действительности	Сок (в России продается сок под названием «Моя семья»), Нои (семья Ноев — персонажи современного японского анимационного сериала), долг, честь («Семья, долг, честь» — девиз дома Талли из популярного американского сериала, основанного на серии книг Джорджа Мартина)	4	3,4
Семья как социальное требование	Вынужденный долг, необходимость	3	2,6
Материальная сторона семейной жизни	Карьера, достаток	2	1,7
Отрицательные аспекты семейной жизни	Пьянство, вынужденный долг	2	1,7

Проанализировав данные, представленные в таблице, можно сделать вывод о том, что для носителей русского языка в связи с концептом «семья» важны,

в первую очередь, функции, выполняемые семьей для человека, т. е. семья для них представляет собой близких людей, которые помогают индивиду и обеспечивают его нормальное духовное, физическое и социальное функционирование. Кроме того, важное место в ассоциативном поле занимают количественные и качественные характеристики семьи, причем среди качественных характеристик преобладает положительная оценочная лексика. Среди ассоциаций имеется относительно небольшое число реакций, указывающих на совместные занятия членов семьи, а это может свидетельствовать о том, что носители русского языка придают намного большее значение эмоциональному фактору семейных отношений, чем конкретной деятельности, которая осуществляется в рамках семейной жизни. То же самое можно сказать и о финансовом аспекте, с которым связано менее 2 % ассоциаций.

Учитывая, что значительный процент реакций указывает на чрезвычайную важность семьи и что лишь очень малая часть ассоциаций характеризует семью с отрицательной стороны, либо же как нейтральный социальный концепт или нечто, навязываемое обществом, можно полагать, что институт семьи в целом для носителей русского языка является одной из наиболее значимых частей жизни и семья в их сознании характеризуется духовным благополучием и является незаменимой и вечной ценностью.

Литература

1. *Попова Т. В.* Ассоциативный эксперимент в психологии. М.: Флинта: МПСИ, 2005. 72 с.
2. *Ляшевская О. Н., Шаров С. А.* Новый частотный словарь русской лексики: электронная версия издания. URL: <http://dict.ruslang.ru/freq.php>. (Дата обращения: 07.03.2015).

А. А. Фокин, А. А. Белов

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УНИВЕРСИТЕТСКОГО ВОЛОНТЕРСКОГО ЦЕНТРА: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассматриваются проблемы мотивации участия в волонтерской деятельности в УрФУ. Авторы предлагают использование международных мероприятий в качестве стажировок, а также говорят о разработке, реализации проекта Центр рекрутинга кандидатов в волонтеры.

Ключевые слова: волонтер, волонтерский центр, чемпионат мира по водным видам спорта, центр рекрутинга.

This article describes the problems of motivation to participate in volunteer activities in UFU. The authors suggest the use of international activities as internships, as well as talk about the design, implementation project, the Centre recruiting candidates for volunteers.

Keywords: *volunteers, volunteer center, fina world championships, recruiting center.*

Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» четко фиксирует, что образование — это единый целенаправленный процесс воспитания и обучения, причем первым в определении идет именно слово «воспитание», что вполне соответствует мировым образовательным трендам. Федеральные государственные образовательные стандарты (поколения 3 и 3+) определяют необходимость формирования общекультурных и профессиональных компетенций, а не только профессиональных. Подход «образование = обучение» неминуемо устарел, уступив место формуле «образование = воспитание + обучение». Таким образом, вуз должен быть не только центром образования, но и местом становления личности будущих специалистов [1].

Волонтерская деятельность студенческой молодежи — это один из эффективных и очень современных методов формирования требуемых общекультурных и в ряде случаев профессиональных компетенций, демонстрации активной гражданской позиции, это возможность самореализации молодежи, безграничное поле возможностей выбора своего жизненного пути.

Активное развитие волонтерского движения в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (далее — УрФУ) началось в 2011 году, когда по инициативе самих студентов был создан Волонтерский центр УрФУ. На текущий момент деятельность волонтерского движения направлена в основном на крупные (в том числе международные) спортивные соревнования: XXVII Всемирная летняя универсиада 2013 года в г. Казани, XXII Зимние Олимпийские Игры 2014 года в г. Сочи, XVI Чемпионат мира по водным видам

спорта FINA-2015. Соревнования примет Казань, которая выиграла право проведения в июле 2011 года, опередив Гвадалахару и Гонконг.

Волонтерский центр активно сотрудничает с Министерством физической культуры, спорта и молодежной политики Свердловской области, некоммерческими и благотворительными организациями города Екатеринбурга.

За четыре года работы сотрудниками волонтерского центра накоплен значительный опыт работы. Этот опыт был систематизирован, проанализирован, в итоге удалось выделить ряд проблем в работе волонтерского движения:

- Примерно 30-40 % волонтеров отказываются от участия в мероприятии в день проведения или вовсе не приходят на него, что нарушает распределение волонтеров по местам, а также сказывается на качестве сопровождения мероприятия.
- Отсутствие в институтах (на факультетах) кураторов или ответственных за волонтерскую деятельность.
- Постоянная смена активистов добровольческого движения. Данная проблема обусловлена отсутствием традиций преемственности поколений в волонтерском движении. На первом курсе студенты имеют недостаточно информации о том, что такое волонтерское движение в целом и как в него вступить. Это отчасти и информационная проблема. Волонтерами чаще всего становятся студенты второго или третьего курсов, поскольку студентам на четвертом курсе необходимо приступить к выполнению и защите квалификационной выпускной работе. После того, как ребята уходят, остается «вакуум», который необходимо заполнять новыми студентами. Решением данной задачи является участие студентов в грандиозных мировых событиях, имеющих значимый информационный повод.
- Отсутствие проработанной мотивационной базы [2].

Для решения вышеуказанных проблем в целом, и в связи с подготовкой делегации от Свердловской области на XVI Чемпионат мира по водным видам спорта в 2015 году, который будет проходить в России впервые, в частности, был создан Центр рекрутинга кандидатов в волонтеры на базе Волонтерского центра УрФУ.

Свердловская область является одним из двадцати регионов-партнеров дирекции Чемпионата мира по водным видам спорта, который пройдет с 24 июля по 9 августа 2015 года. Ожидается, что в соревнованиях примут участие 2,5 тыс. участников, 1800 официальных лиц, прибудут представители порядка из 200 стран мира. В Казани в 2015 году будет разыграно рекордное за всю историю чемпионата количество наград — 75 комплектов — в шести видах спорта. Для проведения XVI Чемпионата мира FINA по водным видам спорта 2015 года в г. Казани будет привлечено 2500 волонтеров из России и зарубежных стран [3].

В сентябре 2014 года прошел Всероссийский образовательный лагерь «Volunteers Academy 2014», на котором сотрудников волонтерского центра обучили методикам рекрутинга кандидатов в волонтеры. По итогам данного лагеря была определена квота волонтеров от нашего региона.

Центр рекрутинга кандидатов в волонтеры работал по отбору кандидатов на Чемпионат мира в период с 01.12.2014 по 22.02.2015. Общее количество заявок на чемпионат составило 570, также 178 анкет было подано для участия только в мероприятиях волонтерского центра. Конкурс на Чемпионат составлял, таким образом, 22,8 человека на 1 место. При этом каждый кандидат проходил одновременно два собеседования: на FINA-2015 и в волонтерский центр. Полученные в ходе этой работы данные помогут тим-лидерам для набора волонтеров на мероприятиях университета, города и области в соответствии с желаниями и возможностями волонтеров.

При организации волонтерской деятельности студентов необходимо учитывать мотивы вовлечения студентов в волонтерство. Существует целый спектр суждений и оценок относительно мотивов участия людей в добровольческой деятельности. Главный мотивирующий фактор — это общение и межкультурный диалог с представителями волонтерского сообщества. Другими мотивирующими факторами являются сопричастность к организации крупномасштабного события, приобретение уникального опыта, специальных навыков и знаний, установление личных контактов в интересных для волонтера сферах, желание быть полезным и нужным, реализация своих личных амбиций [4].

Важно отметить, что сама возможность участия в крупных (городских, федеральных, международных) мероприятиях является сильным мотивирующим фактором. Так, на вышеупомянутый Чемпионат мира по водным видам спорта FINA-2015 поехать смогут только те кандидаты, которые активно принимали участие в различных мероприятиях в течение года и не отказывались в последний момент — данный фактор говорит о сформированной ответственности. При этом сотрудники волонтерского центра отслеживают участие всех желающих, а также ведут статистику отказов. Чемпионат Мира рассматривался для волонтеров в качестве объекта стажировки за активную работу в течение года, при этом проезд, проживание и питание будут им оплачены, делая стажировку полностью бесплатной. Также для волонтеров организованы бесплатные занятия по английскому языку совместно с кафедрой «Перевод и переводоведение» физико-технологического института. Данные занятия направлены на повышение уровня владения иностранным языком и также предложены в качестве мотивирующего фактора.

Для постоянного функционирования волонтерского центра была создана команда из администраторов и рекрутеров. Все молодые люди прошли обучение и получили необходимые навыки для дальнейшей работы. Администраторы и рекрутеры Центра также являются волонтерами. Центр работал каждый день в две смены. Анкета для кандидатов в волонтеры ВЦ была разработана с использованием данных, полученных на Всероссийском образовательном лагере «Volunteers Academy 2014», при участии специалистов кадрового агентства «АСТРА Стафф Сервис».

В начале марта были подведены итоги собеседований с желающими поехать в Казань: 362 человека прошли рекрутинг, 188 человек не явились по различным

причинам, 22 кандидата отказались от участия в отборе, 4 человека самостоятельно удалили анкету с сайта Чемпионата, 17 кандидатов на 1 мая 2015 года не достигли возраста 18 лет.

Общее количество времени отработанного рекрутерами составляет 688 человеко-часов, администраторами — 523,5 человеко-часа. Всего было 14 рекрутеров и 6 администраторов.

Авторы данной работы имеют опыт участия в мероприятиях различного уровня: от университетского до международного. Участвуя в эстафетах Олимпийского и Паралимпийского огня, XXII Зимних Олимпийских играх, авторы заметили, что в процессе подготовки и обучения волонтеров основной акцент делается на развитие таких качеств, как стрессоустойчивость, проактивность, но не уделяется внимание обучению первой медицинской помощи. Поэтому Центр рекрутинга совместно с Управлением Роспотребнадзора по Свердловской области провели учебу для волонтеров по программе гигиенической подготовки с включением в учебно-методический план вопросов эпидемиологической безопасности и элементов оказания первой помощи.

Одним из главных итогов работы центра рекрутинга стало формирование сплоченного коллектива, готового к дальнейшей работе. Также ребята смогли получить опыт работы в новой сфере, повысить коммуникативные навыки, улучшить знания английского языка. По итогам всех собеседований и работы с кадровым агентством была полностью доработана система оценки сформированности компетенций и мотивации каждого кандидата. На XVI Чемпионат мира по водным видам спорта от Свердловской области сформирована команда из 25 человек, которая достойно представит наш регион на мировом событии.

Таким образом, волонтерская деятельность является эффективной воспитательной технологией, которая качественно формирует общекультурные и профессиональные компетенции, в том числе языковые. При этом в волонтерском движении сохраняется ряд проблем, которые нужно системно решать. Необходимо активно изучать опыт, анализировать как положительные, так и отрицательные аспекты деятельности, постоянно повышая эффективность волонтерской деятельности, учитывая постоянный рост ее популярности и постоянно растущий на нее спрос.

Литература

1. Фокин А. А. Проблемы формирования и оценки степени сформированности общекультурных компетенций в условиях новых подходов к образованию // X Международная научно-практическая конференция «Новые образовательные технологии в вузе». Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2012. С. 8.
2. Фокин А. А., Белов А. А. Организация студенческой волонтерской деятельности в высшем учебном заведении // Инновационный потенциал молодежи: патриотическое сознание и практика гражданского участия: материалы всероссийской молодежной науч-

- но-практической конференции, посвященной 20-летию Конституции новой России. Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2013. С. 20.
3. Официальный сайт Чемпионата мира по водным видам спорта FINA-2015. Режим доступа: [www.http://kazan2015.com](http://kazan2015.com).
 4. Белов А. А., Попов А. С. Спортивное волонтерство — тренд молодежной политики в Российской Федерации // I Международная молодежная научная конференция, посвященная 65-летию основания Физико-технологического института. Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2014. С. 278.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абрамов Александр Валерьевич — кандидат химических наук, доцент кафедры физико-химических методов анализа Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *abramov_av@list.ru*.

Аверкова Ольга Владимировна — аспирант, старший преподаватель кафедры иностранных языков Физико-технологического института аспирант ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *olga_averkova_87@mail.ru*.

Аверьянова Анна Николаевна — старший преподаватель кафедры вычислительной техники Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.n.averianova@urfu.ru*.

Алешова Назгуль Ерлановна — бакалавр Ядерной физики Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, *aleshova.nazgul@mail.ru*.

Андреев Сергей Витальевич — заведующий сектором металлургии ОМТТ НИИ ФПМ ИЕН ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Ахметова Юлия Геннадьевна — студент кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *j.akhm@mail.ru*.

Баранова Анна Александровна — старший преподаватель кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.a.baranova@urfu.ru*.

Белов Антон Александрович — заместитель директора Центра воспитательной работы, магистрант кафедры «Организация работы с молодежью» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *fortoha@gmail.com*.

Будай Борис Тиборович — доктор технических наук, профессор кафедры технической физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Булдакова Анна Андреевна — студент кафедры вычислительной техники Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ainiu@mail.ru*.

Бызова Анастасия Константиновна — студент кафедры вычислительной техники ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *anastasia.byzova@gmail.com*.

Вайнштейн Илья Александрович — доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой Физических методов и приборов контроля качества Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *i.a.weinstein@urfu.ru*.

Ван Вэньцзя — аспирант кафедры риторики и стилистики русского языка департамента «Филологический факультет» Института гуманитарных наук и искусств ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *xzh1310@hotmail.com*.

Вахитов Антон Игоревич — студент кафедры вычислительной техники ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *anton-vakhitov@yandex.ru*.

Владыкин Роман Геннадьевич — студент кафедры технической физики ФТИ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *rrroman1994@gmail.com*.

Волков Константин Дмитриевич — лаборант-исследователь ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *volkovkd@rambler.ru*.

Волкова Марина Владимировна — старший преподаватель кафедры теоретической механики, ИнФО ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *vmv15@mail.ru*.

Волкович Владимир Анатольевич — кандидат химических наук, доцент кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Вохминцев Александр Сергеевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.s.vokhmintsev@urfu.ru*.

Гадельшин Марат Шавкатович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической физики Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *gm273@mail.ru*.

Гоголина Надежда Андреевна — доцент кафедры риторики и стилистики русского языка департамента «Филологический факультет» Института гуманитарных наук и искусств ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *nago@bmail.ru*.

Гольдштейн Сергей Людвигович — доктор технических наук, профессор, ведущий кафедрой вычислительной техники ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *s.l.goldstein@urfu.ru*.

Горцунова Ксения Робертовна — магистрант, ведущий инженер кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *goretsksya@mail.ru*.

Грачева Марина Павловна — студентка кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *gracheva1992@gmail.com*.

Грицюк Елена Михайловна — кандидат медицинских наук, врач-эпидемиолог СО ДКБВЛ НПЦ «Бонум», г. Екатеринбург, Россия, *emg80@mail.ru*.

Громыко Максим Викторович — аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории электроники рентгеновских приборов кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия, *jj.black@mail.ru*.

Гусева Анна Борисовна — студент Института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Давыдов Давид Надиршахович — аспирант кафедры экспериментальной физики Физико-технологического Института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ddnsv@el.ru*.

Дедюхин Александр Сергеевич — ведущий инженер кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.s.dedyukhin@urfu.ru*.

Дерябина Дарья Михайловна — студент кафедры технической (молекулярной) физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия, *30monfox04@mail.ru*.

Джамбеков Азамат Матифулаевич — аспирант кафедры «Автоматика и управление» ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань, Россия, *azamat-121@mail.ru*.

Диомидов Илья Андреевич — кандидат медицинских наук, челюстно-лицевой хирург ГБУЗ СО ДКБВЛ НПЦ «Бонум», г. Екатеринбург, Россия, *diomidov@bonum.info*.

Долгирев Юрий Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической физики Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия, *dolgirev1@urfu.ru*.

Ершов Михаил Игоревич — студент кафедры теплоэнергетики и теплотехники Уральского энергетического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ershov1807@gmail.com*.

Есенина Мария Александровна — магистрант кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *mashaesenina@yandex.ru*.

Жиликов Аркадий Юрьевич — кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры термообработки и физики металлов Института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Жуков Алексей Владимирович — магистрант кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург.

Зайцев Дмитрий Валерьевич — студент кафедры «Инновационные технологии» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *dima.zajtsev@yandex.ru*.

Зейде Кирилл Михайлович — ассистент кафедры высокочастотных средств радиосвязи и телевидения ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *zeidek@yandex.ru*.

Зинин Александр Владимирович — директор инновационного центра ИЕН, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Золотухина Анастасия Витальевна — студент кафедры инновационных технологий Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *pjyf@bk.ru*.

Зябликова Татьяна Львовна — студент кафедры информационных технологий Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, *Tatiana_Zyablikova@mail.ru*.

Иванов Роман Андреевич — инженер-физик, научный сотрудник Инновационно-внедренческого центра Регионального инжинирингового центра ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *symection@gmail.com*.

Игнатьев Олег Валентинович — доктор технических наук, научный руководитель научно-исследовательской лаборатории электроники рентгеновских приборов кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ignatyev47@gmail.com*.

Ильин Денис Олегович — магистрант кафедры физических методов и приборов контроля качества Физико-технологического института, лаборант-исследователь, НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ilinn.den.o@gmail.com*.

Исмоилов Сайдахтам Ахрорович — студент кафедры экспериментальной физики Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *sauyedahtam@mail.ru*.

Каграманов Юрий Александрович — студент кафедры теплоэнергетики и теплотехники Уральского энергетического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *KagramanovYA@yandex.ru*.

Калинин Борис Алексеевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *kalinin@urfu.ru*.

Камбаров Архат Нурдыбекулы — бакалавр Евразийского национального университета, г. Астана, Республика Казахстан, *Arkhat95@mail.ru*.

Капсалыкова Карина Рамазановна — аспирант кафедры истории древнего мира и средних веков института гуманитарных наук и искусств ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *carinne.kapsalikova@gmail.com*.

Карамов Руслан Менирович — аспирант кафедры экономики и управления строительством и рынком недвижимости ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ruskt@mail.ru*.

Каримов Абдугаффор Абдусатторович, студент УрФУ, Россия, г. Екатеринбург, *mr.ga.92@mail.ru*

Катюхин Владислав Евгенович, доктор технических наук, кафедра вычислительной техники физико-технологического института УрФУ, Россия, г. Екатеринбург, *s.l.goldshtein@urfu.ru*

Карпов Вячеслав Викторович — инженер 1 категории кафедры Физико-химических методов анализа Физико-технического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *karpov610@yandex.ru*.

Козловский Артем Леонидович — магистр Ядерной физики Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, *artem88sddt@mail.ru*.

Костин Михаил Михайлович — начальник группы ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор, Россия.

Крымов Андрей Львович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *fortuna-p@el.ru*.

Крышмарь Дмитрий Васильевич — научный сотрудник лаборатории «Физика и инженерия наноматериалов и синергетика» Молдавского государственного университета, г. Кишинев, Республика Молдова, *kryshmar@mail.ru*.

Кудрявцев Александр Генрихович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной техники Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *agkustu@gmail.com*.

Кудряшов Дмитрий Владимирович — студент ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Курбанова Эльмира Джумшудовна — кандидат химических наук, научный сотрудник Группы Советника РАН Института Металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, *kurbellya@mail.ru*.

Лабинцев Егор Сергеевич — студент кафедры теплоэнергетики и теплотехники Уральского энергетического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Лапшин Григорий Игоревич — студент кафедры технической физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Лужецкая Анна Павловна — младший научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, *ann@ecko.uran.ru*.

Лупеева Валентина Петровна — магистрант кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *Valulya.93@mail.ru*.

Максимова Елизавета Алексеевна — студент ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *lizaveta.94@list.ru*.

Мальцев Дмитрий Сергеевич — магистрант кафедры редких металлов и наноматериалов ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *d.s.maltsev@gmail.com*.

Маслюков Евгений Владимирович — аспирант кафедры технической физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *eugene_v_m@mail.ru*.

Медведева Екатерина Евгеньевна — старший преподаватель кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *e.e.medvedeva@urfu.ru*.

Медянкина Ирина Сергеевна — аспирант Института химии твердого тела Уральского Отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия, *lysira90@mail.ru*.

Мейримова Татьяна Юрьевна — бакалавр Ядерной физики Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, *tanay_91@mail.ru*.

Метелев Дмитрий Александрович — кандидат экономических наук, доцент кафедры инновационных технологий Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *d.a.meteleff@gmail.com*.

Митенкова Екатерина Андреевна — студентка кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ekaterina.mitenkova@gmail.com*.

Митрофанова Наталья Сергеевна — аспирант Института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Ника Денис Леонидович — доктор физико-математических наук, конференц-исследователь, заведующий кафедрой теоретической физики департамента «Факультета физики и инженерии» Молдавского государственного университета, г. Кишинев, Республика Молдова.

Никитин Александр Дмитриевич — магистрант УралЭНИН ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *studentshurik@gmail.com*.

Одинаев Исмаил — магистрант УралЭНИН ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *i.n.odinaev91@mail.ru*.

Окенов Арстанбек Окенович — студент кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *arsenal0554360525@mail.ru*.

Оконечников Александр Петрович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.p.okonechnikov@urfu.ru*.

Орлов Сергей Николаевич — младший научный сотрудник ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор, Россия, *Orlov.S.N.1989@yandex.ru*.

Палкин Валерий Анатольевич — доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *profpr2004@mail.ru*.

Пасечник Лилия Александровна — кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института химии твердого тела Уральского Отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия, *pasechnik@ihim.ru*.

Первушина Александра Сергеевна — студент кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов ИЕН ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Перминов Олег Игоревич — магистрант кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *agent_585@mail.ru*.

Подвысоцкий Антон Игоревич — старший преподаватель кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *anti-pod@mail.ru*.

Поддубный Василий Алексеевич — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, *vassily.poddubny@gmail.com*.

Половов Илья Борисович — кандидат химических наук, доцент кафедры Редких металлов и наноматериалов Физико-технического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *i.b.polovov@urfu.ru*.

Полухин Валерий Анатольевич — доктор физико-математических наук, Главный научный сотрудник Группы Советника РАН, профессор кафедры ТМП Института Металлургии УрО РАН, Институт материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *ale772009@yandex.ru*.

Поршнева Алиса Сергеевна — кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *alice-porshneva@yandex.ru*.

Пягай Игорь Николаевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Разикова Наталья Игоревна — кандидат химических наук, профессор кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *natigraz@mail.ru*.

Ребрин Олег Иринархович — профессор, доктор химических наук, зав. Кафедрой физико-химических методов анализа Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия, *oirebrin@gmail.com*.

Роднин Алексей Владимирович — магистрант кафедры вычислительной техники ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *alexey.rodnin@yandex.ru*.

Сабирзянов Наиль Аделевич — доктор технических наук, заведующий лабораторией, Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Савченко Сергей Станиславович — студент кафедры физических методов и приборов контроля качества Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *seregananotech@gmail.com*.

Саркисова Анна Сергеевна — студент кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *annasarkisova2008@mair.ru*.

Сарыев Магомед Рашидович — студент кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *m.saryew2015@ya.ru*.

Селезнев Владимир Дмитриевич — доктор физико-математических наук, профессор ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Семенова Ольга Андреевна — студент кафедры вычислительной техники ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *olga.semeonova@yandex.ru*.

Сермягина Елена Андреевна — студент кафедры иностранных языков Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *elena_sermy@mail.ru*.

Скачков Владимир Михайлович — кандидат химических наук, научный сотрудник Института химии твердого тела Уральского Отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия, *vms@weburg.me*.

Скрипченко Сергей Юрьевич — кандидат технических наук, младший научный сотрудник кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *uran233@mail.ru*.

Скупов Александр Дмитриевич — студент ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *sad93@list.ru*.

Смирнов Алексей Леонидович — доктор технических наук, профессор кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.l.smirnov@urfu.ru*.

Смирнов Геннадий Борисович — доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *vt@dpt.ustu.ru*.

Снегин Константин Андреевич — руководитель группы ОАО «Ростелеком», г. Екатеринбург, Россия, *snegin_k@rambler.ru*.

Стариков Евгений Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *starikov_evgeny@mail.ru*.

Степанова Анна Юрьевна — старший преподаватель кафедры социальной безопасности Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *anna_st.07@mail.ru*.

Сухоруков Альберт Викторович — студент кафедры физико-химических методов анализа Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *Alff93@ya.ru*.

Тарасов Евгений Николаевич — кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитотвердых материалов ОМТТ НИИ ФПМ ИЕН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия.

Титова Светлана Михайловна — аспирант, ведущий инженер кафедры редких металлов и наноматериалов физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, *s.m.titova@urfu.ru*.

Тулаганов Нурсултан Аскатбаевич — бакалавр Евразийского национального университета, г. Астана, Республика Казахстан, *Tu.nurs@mail.ru*.

Турчик Владимир Юрьевич — кандидат физико-математических наук, директор ООО «Периметр», г. Екатеринбург, Россия.

Усталов Дмитрий Алексеевич — аспирант Института математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского Отделения Российской академии наук, ассистент кафедры высокопроизводительных компьютерных технологий ИМКН ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *dmitry.ustalov@urfu.ru*.

Федосов Егор Александрович — магистрант кафедры вычислительной техники ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *Yegorf2010@mail.ru*.

Фокин Алексей Андреевич — заместитель директора Центра воспитательной работы по работе с органами студенческого самоуправления, старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника» Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.a.fokin@urfu.ru*.

Фоменков Роман Викторович — начальник группы ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор, Россия.

Хохлов Константин Олегович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *wobbulator@yandex.ru*.

Хромых Анастасия Андреевна — студент кафедры иностранных языков Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *aakhromykh@yandex.ru*.

Хушанг Мирзо — студент кафедры вычислительной техники Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *thushang@mail.ru*.

Цапко Юрий Владимирович — кандидат химических наук, старший научный сотрудник ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор, Россия.

Ципуштанова Татьяна Владимировна — студентка кафедры молекулярной (технической) физики Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *tatka93_15@mail.ru*.

Чайкин Дмитрий Витальевич — аспирант кафедры физических методов и приборов контроля качества Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *d.v.chaikin@urfu.ru*.

Чукин Андрей Владимирович — кандидат технических наук, преподаватель кафедры теоретической физики и прикладной математики Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Чукин Андрей Владимирович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики и прикладной математики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *achukin@el.ru*.

Шапошниковва Юлия Сергеевна — магистрант кафедры социальной безопасности ФТИ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *j.s.shaposhnikova@urfu.ru*.

Шлимас Дмитрий Игорьевич — бакалавр Ядерной физики Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, *shlimas@mail.ru*.

Щеклеин Сергей Евгеньевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *s.e.shcheklein@urfu.ru*.

Щегинский Андрей Валерьевич — кандидат химических наук, доцент кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия, *a.v.shchetinsky@urfu.ru*.

Ямщиков Леонид Федорович — доктор химических наук, профессор кафедры редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия.

Яценко Сергей Павлович — доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Научное издание

ФИЗИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ

Сборник научных трудов

Ответственный редактор: Н. Ю. Марчук
Верстка: А. И. Подвысоцкий
Корректор: Л. Д. Селедкова

Подписано в печать: 11.11.2015 г.
Формат 70×100/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 23.
Тираж 200 экз. Заказ № 8005

Отпечатано в ГУП СО «Режевская типография»
623750, г. Реж Свердловской обл.,
Ул. Красноармейская, 22 Тел. (34364) 2-25-03
Заказ № 8005 Тираж 200 экз. 2015 г.